تربية الطماطم لتحسين المحصول وصفات الجودة

سلسلة تربية محاصيل الخضر

تربية الطماطم لتحسين المحصول وصفات الجودة

تأليف

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ تربية الخضر

كلية الزراعة ـ جامعة القاهرة

يطلب من كبرى دور النشر والمكتبات بمصر والعالم العربى

الطبعة الأولى ٢٠١٧

حسـن، أحمد عبد المنعم
تربية الطماطم لتحسـين المحصول وصفات الجودة / تأليف أحمد عبد المنعم حسـن.
ط١.- القاهرة: ٢٠١٧م.
٤٨٩ ص, ١٧ × ٢٤- (سلسلة تربية محاصيل الخضر).

١. الطماطم
٢. تربية النبات
أ. العنوان

الطبعة الأولى
١٤٣٨هـ -٢٠١٧م

رقم الإيداع: ٢٠١٧/ ٧٣٠٧
تدمـــــــك: ٨- ٥٠٣ - ٣٠٢- ٩٧٧- ٩٧٨

توزيـــع

القاهرة: الدار العربية للنشر والتوزيع الحديثة (دربالة) -دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع.

الجيزة: المكتبة الأكاديمية

الإسكندرية: منشأة المعارف

المنصورة: المكتبة العصرية.

المقدمة

إن الاهتمام الأول لمربى النبات يجب أن يُوجه نحو تحسين كمية المحصول وصفات الجودة فى المحصول الذى يسعى لتربيته؛ فمهما بذل المربى من جهد فى تربية المحصول لتحمل الظروف البيئية القاسية، أو لمقاومة الأمراض والآفات، فإن المنتج لن يُقبل على زراعته ما لم يكن محصوله متفوقًا على محصول الأصناف القياسية أو — على الأقل — مماثلاً لها. كما أن المستهلك لن يُقبل على شرائه ما لم تكن صفات الجودة الظاهرة فيه — التى يتحدد على أساسها قبول المستهلك له من عدمه — محفزة له على اقتنائه. هذا.. فضلاً عن أن صفات الصلاحية للتخزين لها أهميتها الخاصة لكل الأطراف التى تتعامل مع المحصول، وهى: المنتج، والمصدِّر، والتاجر، والمستهلك.

يتضمن الكتاب تسعة فصول تتناول مواضيع التربية لتحسين كمية المحصول والتأقلم على وسائل الإنتاج، وتحديات التربية لتحسين صفات الجودة، وتحسين مستوى الثمار من السكريات والمواد الصلبة الذائبة، وتحسين الرقم الأيدروجينى والحموضة المعايرة والمذاق والنكهة، وتحسين محتوى الثمار من المواد الصلبة غير الذائبة واللزوجة والصلابة، وتحسين اللون، وتحسين القيمة الغذائية والطبية، ومقاومة العيوب الفسيولوجية، وتحسين القدرة التخزينية.

وكلى أمل أن يكون هذا الكتاب — الأول فى مجاله باللغة العربية – عونًا ومرجعًا لكل من الطالب والدارس والباحث.

أ.د. أحمد عبد المنعم حسن

أستاذ تربية الخضر

كلية الزراعة — جامعة القاهرة

محتويات الكتاب

الصفحة

مقدمة ٥

الفصل الأول

التربية لتحسين المحصول والتأقلم على وسائل الإنتاج ١٣
التربية لتحسين المحصول المبكر ١٣
التربية لتحسين المحصول الكلى ١٥
الخصائص ذات العلاقة بتحسين المحصول ١٦
دور التحويل الوراثى لتحمل الشدّ البيئى فى تحسين المحصول ٢١
تربية أصول مناسبة لإنتاج الطماطم ٢٢
التربية لتحمل مبيدات الحشائش ٢٣
التربية للصلاحية للحصاد اليدوى ٢٤
التربية للصلاحية للحصاد الآلى ٢٤

الفصل الثانى

بعض أوجه وتحديات التربية لتحسين صفات الجودة ٢٩
تحديات وإيجابيات ٢٩
وراثة بعض صفات الجودة ٣١
حجم الثمرة، ووزنها، وعدد حجراتها ٣٣
شكل الثمرة ٣٥

الفصل الثالث

التربية لتحسين محتوى الثمار من السكريات — المكون الرئيسى للمواد الصلبة الذائبة الكلية ٤١
مكونات المواد الصلبة الكلية ٤١
العوامل المؤثرة فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة ٤٣
طبيعة النمو ٤٤
مراحل تكوين ونمو الثمار ٤٤

الصفحة

حجم الثمار وكمية المحصول ٤٥
المصادر الهامة لصفة محتوى الثمار المرتفع من المواد الصلبة الذائبة... ٤٧
التباين فى محتوى الثمار من مختلف السكريات ووراثتها ٤٨
السكريات الكلية ٤٨
النشا ٤٩
السكروز ٥٠
الجلوكوز والفراكتوز ٥١
تحديات التربية لتحسين محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة ٥٢

الفصل الرابع

التربية لتحسين الرقم الأيدروجينى والحموضة المعايرة والمذاق والنكهة ٥٣
حموضة الثمار (الحموضة المعايرة والـ pH): أهميتها وطرق تقديرها ووراثتها ٥٣
أهميتها ٥٣
الحموضة المعايرة ٥٤
الـ pH (الرقم الأيدروجينى) ٥٥
التربية لتحسين المذاق والنكهة ٥٦
المذاق (الطعم أو الحلاوة) ٥٦
النكهة ٦٠

الفصل الخامس

التربية لتحسين محتوى الثمار من المواد الصلبة غير الذائبة ولزوجة العصير والصلابة ٦٥
المواد الصلبة غير الذائبة ٦٥

الصفحة

لزوجة العصير ٦٦
صلابة الثمار ٦٧

الفصل السادس

التربية لتحسين اللون ٧١

الطفرات اللونية (مرتبة أبجدياً) وخصائصها ٧٢
الطفرات Aft، و atv، و Abg، و An1 وغيرها من الطفرات الأنثوسيانينية ٧٢
الطفرة B ٧٤
الطفرة c ٧٥
الطفرة Cnr ٧٥
الطفرة Del ٧٥
الطفرة dg ٧٦
الطفرتان gf، و Gr ٧٧
طفرات الـ hp (hp1 ، و hp2، و hp3) ٧٨
الطفرة Ip ٨٢
الطفرة og^c ٨٢
الطفرة r وطفرات اللون الأصفر الأخرى ٨٢
الطفرة t ٨٣
الطفرة u ٨٣
المحتوى النسبى لمختلف الصبغات الكاروتينية فى مختلف الطفرات ٨٤
التحويل الوراثى للتحكم فى مستوى الصبغات ٨٨

الفصل السابع

التربية لتحسين القيمة الغذائية والطبية ٩١

فيتامين أ ٩١
حامض الأسكوربيك (فيتامين ج) ٩٤

الصفحة

حامض الفوليك ٩٦
الليكوبين ومضادات الأكسدة الأخرى من حامض الأسكوربيك والفينولات وغيرها ٩٦
الفوسفور والبوتاسيوم ١٠٠
الجليكوألكالويدات ١٠٠

الفصل الثامن

التربية لمقاومة العيوب الفسيولوجية ١٠٣

التشقق العمودى والدائرى والتفلق ١٠٣
اختبار القابلية للتشقق ١٠٣
وراثة المقاومة للتشقق ١٠٥
طبيعة المقاومة للتشقق ١٠٥
التشقق الأديمى ١٠٦
وراثة المقاومة للتشقق الأديمى ١٠٦
طبيعة المقاومة للتشقق الأديمى ١٠٦
تعفن الطرف الزهرى ١٠٧
وراثة المقاومة لتعفن الطرف الزهرى ١٠٧
طبيعة المقاومة لتعفن الطرف الزهرى ١٠٧
ندبة أو أثر الطرف الزهرى ١٠٨
وراثة أثر الطرف الزهرى ١٠٩
أثر العنكبوت ١٠٩
وراثة أثر العنكبوت ١٠٩
وجه القط ١١٠
التقييم لمقاومة وجه القط ١١٠
النضج المتلطخ ١١٠
الجيوب ١١١

الصفحة

وراثة المقاومة للجيوب ١١١
التربية للتخلص من الظواهر الوراثية غير الطبيعية ١١١
التربية للتخلص من جدرى الثمار ١١١
التربية للتخلص من اللون الأخضر فى جيلاتين المساكن ١١١

الفصل التاسع

التربية لتحسين القدرة التخزينية

١١٣
العوامل المؤثرة فى مدى صلاحية الثمار للتخزين ١١٣
الطفرات المؤثرة فى نضج الثمار ١١٥
طفرة "مانع النضج" ripening inhibitor (rin) ١١٥
طفرة "عدم النضج" non-ripening (nor) ١١٦
طفرة "لا تنضج أبدًا" never ripe (Nr) ١١٨
مقارنة بين طفرات النضج rin، و nor، و Nr ١١٨
طفرة "ألكوباكو" Alcobaco (alc) ١١٩
طفرة "النضج الأخضر" Green Ripe (Gr) ١٢٢
التحويل الوراثى لزيادة القدرة التخزينية ١٢٣
التحويل بالشفرة المضادة لكل من الإنزيمين PG، و PE ١٢٣
التحويل بالشفرة المضادة للإنزيم PME ١٢٥
التحويل بالشفرة المضادة للإنزيم ACC synthase ١٢٥
التحويل بالشفرة المضادة للإنزيم ACC oxidase ١٢٥
التحويل بالجين ACC deaminase ١٢٦
التحويل بجين الـ expansin ١٢٦

المراجع ١٢٧

الفصل الأول

التربية لتحسين المحصول والتأقلم على وسائل الإنتاج

التربية لتحسين المحصول المبكر

يُجرى الإنتخاب للتبكير فى النضج على أساس كمية المحصول المبكر الذى يتحدد — عادة — على أحد الأسس التالية :

١–المحصول الذى يتم حصاده خلال الخمسة عشر يومًا الأولى من موسم الحصاد.

٢–محصول الجمعتين أو الجمعات الثلاث الأولى.

٣–المحصول الذى يتم حصاده قبل بداية الحصاد من الصنف القياسى.

٤–المحصول الذى يتم حصاده قبل تاريخ معين.

وتوجد مقاييس أخرى لتحديد المحصول المبكر. وعمومًا.. فإن المربى يأخذ منها ما يناسبه.

وقد دُرس الارتباط بين التبكير فى النضج وصفات نباتية أخرى، بهدف الانتخاب لصفة التبكير دونما حاجة إلى الانتظار لحين نضج المحصول. فمثلاً.. وجد Pandita & Andrew (١٩٦٧) ارتباطًا معنويًّا سالبًا بين محتوى الورقة من عنصر الفوسفور، وعدد الأيام حتى النضج، وذلك فى عدد من أصناف الطماطم التى تختلف فى موعد نضجها. كان الارتباط — فى النباتات الصغيرة التى يبلغ عمرها ٦–٨ أسابيع — أكبر مما فى النباتات الأكبر التى يبلغ عمرها ١٠–١٢ أسبوعًا. واقترح الباحثان الانتخاب لصفة التبكير فى النضج، بتحليل مستوى الفوسفور فى أوراق النباتات — وهى فى مرحلة مبكرة من نموها — بدلاً من الانتظار لحين نضج الثمار. هذا.. وقد وجد الباحثان ارتباطًا وثيقًا مماثلاً فى محصول الخس.

كذلك يتأثر التبكير فى النضج بعدد الأيام التى تلزم لوصول الثمرة إلى مرحلة التحول، وهى صفة وراثية؛ فتتميز سلالة الطماطم الشيرى Cornell 871213-1 بأن ثمارها تستغرق — من تفتح الزهرة إلى مرحلة التحول breaker stage — فى ظروف مختلفة — حوالى ٣١-٣٢ يومًا، مقارنة بنحو ٤٠-٤٨ يومًا فى سلالة شيرى أخرى هى NC 21C-1. وفى دراسة على تهجين بينهما قُدِّرت درجة توريث تلك الصفة على النطاقين العريض والضيق بنحو ٧٢٪، و٤٠٪ - على التوالى — على أساس قيم النباتات المفردة، كما قدرت درجة التوريث على النطاق الضيق بنحو ٢٩٪ على أساس انحدار الجيل الثالث على الجيل الثانى، وقدرت درجة التوريث المحققة بنحو ٣١٪ (Kemble & Gardner ١٩٩٢).

وتبعًا لـ Boswell (١٩٣٧).. فإن موعد النضج صفة كمية يتحكم فيها جينات ذات تأثير إضافى — غالبًا — نظرًا لأن نباتات الجيل الأول تكون وسطًا بين الأبوين، بينما تظهر كل التدرجات فى موعد النضج فى نباتات الجيل الثانى. ويعتبر التبكير فى النضج من الصفات المنخفضة فى كفاءة توريثها؛ حيث قدرت فى المعنى العام Broad Sense Heritability بنحو ٢١٪ (Cuartero & Cubero ١٩٨٢).

وجدير بالذكر أن كفاءة نظام إنتاج الطماطم اعتمادًا على عنقود واحد single-truss tomato production system يعتمد على مدى التبكير. وقد قام Nakano وآخرون (٢٠١٦) بإجراء تحليل للـ QTLs المؤثرة فى وقت تنشئة الأزهار فى الطماطم.

ويلعب التفريع الجانبى دورًا فى التبكير فى النضج، وقد وُجد أن تكوين ونمو الفروع الجانبية يُنَظَّم ببعض الـ QTLs المضيفة والمتفوقة epistatic، وربما يكون لبعضها تأثير متعدد على وقت الإزهار (Lee وآخرون ٢٠١٥).

ولقد أمكن التعرف على ثلاث QTLs ترتبط بالتبكير فى الحصاد، كانت إحداها ترتبط — أساسًا — بموعد الإزهار، وترتبط واحدة أخرى بموعد عقد الثمار، وثالثة بموعد النضج (Lindhout وآخرون ١٩٩٤).

كما أمكن التعرف على QTL (هى: dw1) من *S. pennellii* ترتبط كثيرًا مع زيادة المحصول والتبكير فى النضج، ولكن مع انخفاض فى صلابة الثمار.

التربية لتحسين المحصول الكلى

إن صفة المحصول — كما هو معلوم — صفة كمية مركبة. ويذهب بعض مربى النبات إلى اعتبار أن المحصول هو محصلة فعل جميع الجينات التى يحملها النبات، وهو قول لا يذهب بعيدًا عن الواقع. ولكن تتفاوت الصفات النباتية — كثيرًا — من حيث تأثيرها فى المحصول. ولا يمكن معرفة الحجم الحقيقى لتأثير كل جين إلاّ بإنتاج سلالات تختلف فى آليلات هذا الجين — بينما تكون أصولها الوراثية متشابهة (isogenic lines) — ثم مقارنة محصولها.

ومن أبرز الأمثلة على الصفات المؤثرة فى المحصول برغم أنها لا تُذكر — عادة — فى هذا الشأن صفتا النمو المحدود مقابل النمو غير المحدود، والنمو الطبيعى مقابل النمو المتقزم.. علمًا بأن كلتيهما صفة بسيطة يسود فيها النمو غير المحدود والمتقزم على التوالى. كما يتوقع أن يكون لصفات الورقة تأثيرات متباينة على المحصول الكلى للنبات، ومن أمثلتها: صفات اللون الأخضر مقابل اللون الأخضر المصفر، والطبيعية المظهر مقابل الذابلة wilty، والعادية الشكل مقابل الشبيهة بورقة البطاطس.. علمًا بأن جميعها صفات بسيطة يسود فيها اللون الأخضر، والمظهر والشكل الطبيعيين على التوالى. هذا .. بينما لا يتوقع أن يكون لصفات أخرى تأثير يذكر على المحصول؛ مثل صفة لون ساق البادرة الأرجوانى مقابل اللون الأخضر، وهى صفة بسيطة يسود فيها اللون الأرجوانى.

هذا .. إلاّ إنه عند التربية للمحصول.. فإن جلّ اهتمام المربى ينصب إما على المحصول الكلى مباشرة، وإما على مكونات هذا المحصول — كل على حدة — وإما على الصفات الفسيولوجية التى يكون لها دور مباشر فى التأثير فى المحصول.

ومن أهم مكونات المحصول فى الطماطم: عدد العناقيد الزهرية، وعدد الأزهار بكل عنقود، ونسبة العقد (أو عدد الثمار بكل عنقود)، ومتوسط وزن الثمرة. وكما هو متوقع.. فإن درجة توريث المحصول تكون منخفضة جدًّا إذا لم تؤخذ – فى الحسبان – مكونات هذا المحصول، أو الصفات الفسيولوجية التى تؤثر فيه كل على انفراد. فمثلاً.. قدرت كفاءة توريث المحصول فى المعنى العام فى إحدى الدراسات بنحو ١٠٪ فقط. وفى المقابل.. ارتفعت كفاءة التوريث المقدّرة لعدد الثمار بالنبات إلى نحو ٦٣٪ (Cuartero & Cubero ١٩٨٢، و Yassin ١٩٨٨). كذلك حُصل على تقديرات عالية بلغت ٦٧٪ لكفاءة التوريث فى المعنى العام لصفة عدد الأوراق بين العناقيد، وهى – كسابقتها – صفات ترتبط بصفة المحصول الذى يزيد بزيادة عدد الثمار بالنبات، وبنقص عدد الأوراق بين كل عنقودين زهريين.

وتفيد دراسة الأساس الفسيولوجى للمحصول فى إمكانية الربط بين المحصول المرتفع ومختلف العمليات الفسيولوجية التى تسهم بدور فعال فى إنتاج هذا المحصول فى السلالات المختلفة؛ وبذا تتضح الرؤية أمام المربى، الذى يسعى – بناء على هذه المعلومات – إلى جمع تلك الصفات الفسيولوجية فى تركيب وراثى واحد يكون أعلى محصولاً من أى من السلالات المستخدمة فى إنتاجه منفردة.

الخصائص ذات العلاقة بتحسين المحصول

إن من أهم الخصائص ذات العلاقة بالمحصول – والتى يهتم بها المربى لأجل تحسين المحصول – ما يلى:

كفاءة عملية البناء الضوئى والمحتوى الكلوروفيلى العالى بالأوراق

وجدت اختلافات كبيرة بين أصناف الطماطم فى كفاءتها فى عملية البناء الضوئى. كما تبين وجود علاقة فى بعض سلالات الطماطم بين كفاءة عملية البناء الضوئى وبعض صفات الورقة المورفولوجية والتشريحية والفسيولوجية. وكانت أكثر الصفات دلالة على

مدى كفاءة عملية البناء الضوئى هى محتوى الأوراق من الكلوروفيل؛ حيث بلغ معامل الارتباط (r) بين الصفتين ٠,٦٩.

وأظهرت الدراسات الوراثية أن صفتى كفاءة البناء الضوئى والمحتوى الورقى المرتفع من الكلوروفيل يتحكم فيهما — معًا — جين واحد؛ وهو ما يعنى أن انتخاب النباتات ذات الأوراق الخضراء القاتمة يعنى — تلقائيًّا — انتخاب التراكيب الوراثية ذات الكفاءة التمثيلية العالية. وقد تبين — كذلك — أن تلك الكفاءة العالية كانت مرتبطة بزيادة كبيرة فى كمية ونشاط إنزيم ribulose,1-5-biphosphate carboxylase.

ولقد وجد أن تربية الطماطم للقدرة على النمو فى حرارة منخفضة (٦، و١٠°م) لم يكن مجديًا، وكان الأجدى تربية أصناف عالية الكفاءة فى الاستفادة من الطاقة المتاحة، تكون قادرة على إنتاج كتلة بيولوجية عالية بصورة مستقلة عن درجة الحرارة (Nieuwhof وآخرون ١٩٩٣).

الفيتوكروم والفلورجن وأهميتهما

وجد من دراسة أُجريت على طفرتى الطماطم PHYA ، و PHYB1 (وهما من طفرات الفيتوكروم phytochrome) أنهما يلعبان دورًا فى زيادة محصول الثمار بنسبة وصلت فى أحد الأصناف إلى ٧٤٪ فى ظروف الصوبة، و٣٩٪ فى ظروف الحقل. وبينما لم تؤثر الطفرة PHYB1 على أى من صفات الجودة المقيسة، وهى: نسبة الوزن الجاف إلى الوزن الطازج، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية، ولزوجة المعجون (الصلصة)، وعدد البذور بالثمرة، ولون الثمار؛ فإن الطفرة PHYA أحدثت تحسُّنًا فى تلك الصفات (Alba وآخرون ١٩٩٩).

وفى دراسة أخرى تمت الاستعانة بنحو ٥٠٠٠ نبات يحتوى كل منها على طفرة واحدة تُحدث ضررًا فى أحد جوانب نمو الطماطم، مثل حجم الثمرة، وشكل الورقة... إلخ، ويُنتج معظمها محصولاً منخفضًا، وتم تهجين كل طفرة بنظيرتها الطبيعية، وذلك لأجل البحث عن

طفرة تُعطى سيادة فائقة ومحصولاً عاليًا فى الجيل الأول. ومن بين عدة طفرات أعطت سيادة فائقة، أنتج أحد الهجن زيادة كبيرة فى المحصول بلغت ٦٠٪. وقد احتوى هذا الهجين على طفرة واحدة وآليلها الطبيعى من الجين الذى يُنتج بروتين الفلورجين florigen، وهو الذى يعطى تعليمات للنبات للتوقف عن إنتاج أوراق جديدة، والبدء فى إنتاج الأزهار. وفى الطماطم يتحكم فى الإزهار توازن دقيق بين بروتين الفلورجين الذى يُحفِّز الإزهار، وبروتين آخر قريب منه يؤخر الإزهار. ويؤدى وجود نسخة واحدة من طفرة جين الفلورجين إلى إنتاج الأزهار بعدد أكبر فى وقت أقل. ويتحقق ذلك عندما لا يوجد فلورجين أكثر أو أقل مما ينبغى. وإلى جانب المحصول المتميز لهجين تلك الطفرة فإن ثماره المتكونة — رغم كثرتها — ازداد محتواها من السكر؛ الأمر الذى لا يحدث فى الحالات العادية بسبب توزيع السكر المجهز على عدد كبير من الثمار (Since and Technology News ٢٠١٠).

كفاءة انتقال الغذاء المجهز

تفيد زيادة كفاءة انتقال الغذاء المجهز فى زيادة قدرة الأوراق على تمثيل مزيد من الغذاء.

وقد تبين أن كفاءة انتقال الغذاء المجهز — من الأوراق إلى الثمار — كانت منخفضة نسبيًا فى أصناف الطماطم غير المحدودة النمو، التى انتقل فيها أقل من ٢٠٪ من الكربون المشع (١٤ك) فى خلال فترة ٢٤ ساعة. كما اتضح أن أصناف الحصاد الآلى القديمة كانت — هى الأخرى — قليلة الكفاءة فى نقل الغذاء المجهز إلى الثمار. وأمكن التغلب على هذه المشكلة بتحسين دليل الحصاد harvest index، وبزيادة كفاءة الثمار فى استقبال الغذاء المجهز. ويظهر ذلك بوضوح فى أصناف الحصاد الآلى الحديثة العالية المحصول، التى تعقد ثمارها وتنضج فى وقت واحد.

قدرة الثمار على البناء الضوئى وانخفاض معدل تنفسها

اتضح أن ثمار الطماطم لديها قدرة محدودة على تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون بها، بالرغم من أن أديم الثمرة غير منفذ للغازات؛ فقد وجد أن نسبة المادة الجافة التى

تُصنَّع بالثمار ذاتها تصل إلى ١٠٪ - ١٥٪ من تلك التى توجد بها. كما لوحظ أن ثمار الأصناف ذات المحتوى الكلوروفيللى المرتفع قبل النضج كانت - أحيانًا - ذات محتوى عالٍ من المواد الصلبة الذائبة الكلية وحامض الأسكوربيك بعد النضج، إلا أنه نظرًا لأن معظم الطفرات المعروفة التى تؤثر فى لون الثمار غير الناضجة تؤثر كذلك فى مستوى الكلوروفيل فى النموات الخضرية؛ لذا يصعب تحديد الدور الذى تلعبه الثمار فى تثبيت غاز ثانى أكسيد الكربون بها.

وربما كان من الممكن زيادة المحصول بالانتخاب لصفة المعدل المنخفض للتنفس فى الثمار، خاصة بعد اكتشاف اختلافات وراثية فى مستوى نشاط إنزيم ribulose,1-5 biphosphate carboxylase - المؤثر فى معدل التنفس - فى الثمار (عن Stevens & Rudich ١٩٧٨).

القدرتان العامة والخاصة على التآلف لآباء الهجن

أظهرت دراسة أجريت على ١٥ صنفًا من الطماطم، و ١٠٤ من هجن الجيل الأول بينها وجود اختلافات جوهرية جدًّا فى القدرة العامة على التآلف بين الآباء فى جميع الصفات التى دُرست (وهى الكفاءة التمثيلية، ونسبة المساحة الورقية، والمساحة الورقية الخاصة)، واختلافات جوهرية فى القدرة الخاصة على التآلف لبعض الصفات. كما ظهرت ارتباطات سالبة قوية بين القيم المُقدَّرة للقدرة العامة على التآلف لكل من الكفاءة التمثيلية Net Assimilation Rate مع نسبة المساحة الورقية Leaf Area Ratio، والكفاءة التمثيلية مع المساحة الورقية الخاصة Spcific Leaf Area. وتبين كذلك وجود ارتباط موجب قوى بين القيم المُقدَّرة للقدرة العامة على التآلف لنسبة المساحة الورقية مع المساحة الورقية الخاصة (Smeets & Garretsen ١٩٨٦).

وأظهرت دراسة أخرى على نفس الأصناف والهجن السابقة وجود اختلافات جوهرية فى كل من القدرة العامة على التآلف والقدرة الخاصة على التآلف بالنسبة لصفات: صافى

البناء الضوئى net photosynthesis، والتنفس الظلامى dark respiration، والوزن الورقى الطازج الخاص specific leaf fresh weight، ومقاومة الثغور stomatal resisance (Van De Dijk ١٩٨٧)؛ وجميعها صفات تسهم بدرجات متفاوتة فى تحديد المحصول الكلى للنبات.

مكونات المحصول

صفة العنقود الزهرى الكبير جدًا Multiflor

أمكن من تهجين بين صنف من الطماطم والنوع البرى الأحمر الثمار *S. humboldtii* انتخاب سلالة ثابتة وراثيًّا أُطلق عليها اسم Multiflor، تميزت بضخامة عناقيدها الزهرية. ونباتات هذه السلالة غير محدودة النمو، وسلامياتها قصيرة، وأوراقها قليلة، وتحمل ٤–٥ عناقيد زهرية ضخمة ومتفرعة يتراوح عدد الأزهار بكل منها بين ٧٠٠–١٢٠٠، وحبوب لقاحها تامة الخصوبة. يستمر نمو العنقود الزهرى فيها حتى نهاية موسم النمو، ويعقد به نحو ٥٠–٦٠ ثمرة متوسطة الحجم يزن كل منها حوالى ٤٠–٥٠ جم (Stancheva وآخرون ١٩٩٧).

وراثة مكونات المحصول

فى دراسة تضمنت ٩٠ تركيبًا وراثيًّا من الطماطم (١٥ سلالة محسنة، و ٤ سلالات اختبارية، و ٦٠ هجينًا ما بين السلالات المحسنة والسلالات الاختبارية) تم تقييمها فى موعدين للزراعة (الموعد العادى وموعد متأخر)، وُجد أن الفعل الجينى المضيف كان هو السائد لكل من: عدد الأيام حتى النضج، ومحصول النبات الكلى ومحصول النبات الصالح للتسويق، وعدد الثمار بالنبات، ومتوسط وزن الثمرة. وقد أمكن التعرف على أفضل السلالات للقدرة العامة على التآلف، حيث كانت هى السلالة Spectrum فى موعد الزراعة العادى والسلالة LT-42 فى موعد الزراعة المتأخر (Garg وآخرون ٢٠٠٨).

وأمكن – من تلقيح مع *S. pennellii* – التعرف على QTL (هى hi2-1) ربما تكون موقعًا جينيًّا ذات تأثير متعدد يُحسِّن من دليل الحصاد ويبكر النضج ويحور من تراكم نواتج الأيض، أو أنها تمثل جينات مرتبطة ببعضها يؤثر كل منها – منفردًا – على تلك الصفات. وربما يؤثر الـ hi2-1 على دليل الحصاد والتبكير فى النضج بإحداثه تغييرًا فى البنية النباتية plant architecture ومعدل الإزهار (Gur وآخرون ٢٠١٠).

دور التحويل الوراثى لتحمل الشدّ البيئى فى تحسين المحصول

وُجد أن التريهالوز trehalose – وهو سكر ثنائى غير مختزل يتكون من جزيئى جلوكوز – يرتبط بتحمل ظروف مختلفة من الشدّ البيئى. وأمكن إنتاج طماطم من الصنف UC82B محولة وراثيًّا بالجين trehaose-6-phosphate-synthase (اختصارًا: TPS1) من الخميرة. أظهرت النباتات التى حُوِّلت وراثيًّا بالـ TPS1 تغيرات متعددة، مثل زيادة سمك السيقان، ودكنة لون الأوراق وصلابتها، وانتصاب الفروع، ونمو الجذور بصورة غير طبيعته. كذلك وجد بأوراق النباتات المحولة وراثيًّا محتوى أعلى من الكلوروفيل والنشا عما فى النباتات العادية، كما أظهرت تلك النباتات تحملاً أكبر لشد الجفاف والملوحة وشد الأكسدة؛ بما يعنى ارتباط التغيرات فى المواد الكربوهيدراتية – التى أحدثها تمثيل التريهالوز – بتحمل الشد، وبما يعنى إمكان تربية نباتات تتحمل ظروف الشدّ البيئى دون التضحية بالقدرة الإنتاجية (Cortina & Culianez-Macia ٢٠٠٥).

ولقد أمكن زيادة تحمل عديد من الأنواع النباتية لظروف الشدّ البيئى بتحويلها وراثيًّا بجينات معينة، إلا أن النباتات المحولة وراثيًّا غالبًا ما تكون ضعيفة النمو، ومنخفضة المحصول فى ظروف انعدام حالة الشد. هذا.. إلاّ أن التعبير عن الجين codA من *Arthrobacter globiformis* فى الطماطم أدى إلى زيادة تمثيل الجليسين بيتين glycinebetaine فيها – وهو الذى يُعرف بأنه يجعل النباتات أكثر تحملاً لشدّ الملوحة والجفاف – وفى نفس الوقت – فإنه أحدث زيادة جوهرية فى حجم الأزهار

والثمار فى ظروف انعدام الشدّ. وقد ترافقت الزيادة فى حجم الأزهار والثمار مع زيادة فى مستويات الجليسين بيتين الذى تراكم فى أعضاء التكاثر، مثل البراعم الزهرية والثمار. كذلك ارتبطت زيادة الأزهار فى الحجم بزيادة فى حجم الخلايا وأعدادها، واعتبر ذلك تأثيرًا متعددًا للجين codA على تعبير الجينات المنظمة لانقسام الخلايا (Park وآخرون ٢٠٠٧).

تربية أصول مناسبة لإنتاج الطماطم

تتباين الصفات التى ينبغى توفرها فى أصول الطماطم التى تستخدم فى مختلف طرق الإنتاج؛ مثل الزراعات المحمية المدفأة، وغير المدفأة، والزراعات الحقلية، وإنتاج الأصناف المتوارثة، وفيها جميعها تُعد المقاومة للأمراض التى تنتشر فى مختلف الزراعات — وخاصة أمراض التربة — أحد أهم الصفات التى ينبغى توفرها، بينما تقل الحاجة إلى تلك الصفة فى الزراعات اللاأرضية، حيث تكون القدرة على امتصاص الأصول للعناصر، وتحمل الملوحة أكثر أهمية، وكذلك المقاومة لأمراض النموات الخضرية.

وتُشكل المقاومة لفيرس موزايك التبغ فى الأصول والطعوم أحد الأمور التى يتعين الاهتمام بها؛ ذلك لأن المقاومة يمكن أن يكون مردها إلى الجين Tm-1 أو إلى الجين Tm-2. وبينما تكون النباتات التى تحمل الجين Tm-1 متحملة للفيرس أو حاملة له دون ظهور أعراض مرضية عليها، فإن الجين Tm-2 يُكسب النباتات الحاملة له تفاعل فرط الحساسية. فإذا ما كان الأصل يحمل الجين Tm-1 والطعم يحمل الجين Tm-2 فإن الأصل يكون قادرًا على نقل الفيرس للطعم؛ مما يؤدى إصابته بتحلل جهازى (King وآخرون ٢٠١٠).

وعلى الرغم من تعدد الأنواع البرية للطماطم التى قد يمكن الاعتماد عليها كأصول أو كمصادر لصفات هامة فى الأصول، فإن معظم الاهتمام كان من نصيب النوع *S. habrochaites*، الذى استعمل هجينه النوعى مع الطماطم كأم فى إنتاج عدة

أصول تجارية، كان من أبرزها الهجينين Maxifort، و Beaufort (وكلاهما من إنتاج DeRuiter Seeds بهولندا). ويحمل كلا الهجينين مقاومة لكلٍ من فيرس موزايك التبغ، وعفن الجذور الفيوزارى، وعفن التاج الفيوزارى، والجذر الفلينى، وذبول فيرتسيليم، ونيماتودا تعقد الجذور. ويُعد الاختلاف الرئيسى بينهما أن Maxifort يُعطى قوة أكبر لنمو الطعم عن Beaufort.

ومن الأصول الهجين الأخرى — التى يعتقد أنها كذلك — هجنًا بين الطماطم والنوع *S. habrochaites*، كلاً من: He-Man (إنتاج Syngenta بسويسرا)، و Resistar (إنتاج Hazera بإسرائيل)، و Emperador (إنتاج Rijk Zwaan بهولندا)، و Robusta (إنتاج Bruinsmo بهولندا).

ويفضل دائمًا استعمال أصول وطعوم من نفس شركة إنتاج البذور؛ ذلك لأن أصولها غالبًا ما تكون متوافقة على طعومها التى أنتجتها، وتكون قد خضعت لتقييم دقيق (King وآخرون).

التربية لتحمل مبيدات الحشائش

إن الاتجاه نحو استعمال مبيدات الحشائش ضرورة اقتصادية تتطلبها النفقات المتزايدة لعملية العزيق اليدوى. ولما كانت تكاليف إنتاج أى مبيد ناجح للحشائش تحسب بملايين الدولارات.. فإن الرأى السائد بين الباحثين أن تربية أصناف من المحصول تتحمل هذا المبيد أفضل من محاولة إنتاج مبيد آخر يمكن أن يتحمله المحصول؛ ذلك لأن تكاليف تربية صنف جديد لا تتجاوز نسبة يسيرة من تكاليف إنتاج المبيد الجديد. وتزداد حدة هذه المشكلة بالنسبة لمحاصيل الخضر التى يستحيل معها تخصيص ميزانيات ضخمة لإنتاج مبيدات حشائش تناسب كلاً منها.

ولقد أجريت دراسات استهدفت التربية لمقاومة مبيد الحشائش متريبوزين Metribuzin، الذى يستخدم فى حقول الطماطم إما قبل الزراعة، وإما بعد الإنبات، ولكن

المعاملة الأخيرة تُحدث – أحيانًا – أضرارًا كبيرة بالطماطم، خاصة فى الجو الملبد بالغيوم. وقد قيَّم Phatak & Jaworski (١٩٨٥) ٢٩٣ صنفًا من الطماطم، و١٩٨٦ سلالة من سبعة أنواع من الجنس *Solanum*، ووجدا أن أكثرها قدرة على تحمل المبيد كانت هى سلالتا الطماطم UG 113 MT، و UGA 1160 MT اللتان تحملتا تركيزات بلغت ١٦ ضعف التركيز الموصى به (وهو ١,١٢ كجم/هكتار) حتى فى الجو الملبد بالغيوم. وكان Machado وآخرون (١٩٨٢) قد ذكرا أن صنفى الطماطم Vision، و Fireball يتحملان هذا المبيد، واستخدماهما فى دراسة وراثية مع الصنف الحساس Heinz 1706، استدلا منها على أن القدرة على تحمل المبيد (معبرًا عنها بغياب أعراض التسمم، وطول البادرات، ووزنها الجاف) صفة بسيطة سائدة، تتأثر بجينات أخرى محورة. وذات كفاءة توريث عالية، قدرت فى المعنى العام بنحو ٥٨٪ إلى ٧٢٪.

التربية للصلاحية للحصاد اليدوى

لا يتضمن الحصاد اليدوى أية تقنيات جديدة، ولكن مربى الطماطم يحاولون خفض تكاليف تلك العملية بإنتاج أصناف جديدة يسهل حصادها يدويًّا. تتوفر تلك الخاصية فى سلالات الطماطم ذات النمو المنبطح prostrate growth، التى تتميز بزيادة الزاوية التى تصنعها الفروع مع السيقان التى تتفرع منها – مقارنة بالنباتات ذات النمو القائم – كذلك تتميز تلك السلالات بزيادة المحصول؛ نتيجة لنقص نسبة الثمار المتعفنة؛ لأنها لا تلامس التربة. وقد وجد Ozminkowski وآخرون (١٩٩٠) أن تلك الصفة كمية، وذات درجة توريث مرتفعة جدًّا؛ حيث كان كل التباين الوراثى فيها إضافيًّا.

التربية للصلاحية للحصاد الآلى

كانت بداية الحصاد الآلى للطماطم فى ولاية كاليفورنيا الأمريكية فى الستينيات، ومنها انتشرت تلك الطريقة فى الحصاد فى بقية أرجاء العالم. وحاليًّا.. تُحصد معظم حقول طماطم التصنيع فى الدول المتقدمة آليًّا، كما أن نسبة عالية من حقول طماطم الاستهلاك الطازج تحصد آلياً كذلك. ويجرى الحصاد الآلى دفعة واحدة، باستخدام

آلات كبيرة تقوم بتقليع النباتات، ونقلها على "كاتينة" متحركة إلى داخل الآلة؛ حيث تتعرض لاهتزازات شديدة تؤدى إلى سقوط الثمار. وتنقل الثمار بعد ذلك بواسطة سيور متحركة أمام عمال يقومون بفرزها، واستبعاد الثمار غير الناضجة، والزائدة النضج، والمصابة بالأمراض، والعيوب الفسيولوجية. ويستمر تحرك الثمار إلى أن تسقط فى عربة تتحرك فى الحقل إلى جانب آلة الحصاد.

تُحصد حقول أصناف الاستهلاك الطازج عندما تصل نسبة الثمار — فى أية درجة من درجات التلوين — إلى ٥٪ – ١٠٪ ، ويفضل أن تكون النسبة ٢٠٪، ويتوقف حصادها آليًّا عندما تزيد النسبة على ٢٥٪؛ حتى لا تتعرض الثمار للتلف (Sims & Scheuerman ١٩٧٩).

وتُحصد أصناف التصنيع عندما تبلغ نسبة الثمار فى أية درجة من درجات التلوين ٨٠٪، ويفضل أن تكون النسبة ٩٠٪، ويتوقف حصادها آليًّا عندما توجد نسبة عالية من الثمار الزائدة النضج؛ لأنها تكون طرية، وتتهتك، وتعيق عملية الفرز، وتبطئ من عملية الحصاد، وتزيد من تكاليفها (Sims وآخرون ١٩٧٩).

وبناءً على ما تقدم.. فإن أصناف الحصاد الآلى يجب أن تتوفر فيها مواصفات معينة هى:

١–أن تنضج معظم الثمار فى وقت متقارب؛ أى يكون النضج مركزًا، وأن تكون النباتات محدودة النمو؛ علمًا بأن صفة النضج المركز يتحكم فيها عديد من الجينات السائدة أو ذات سيادة فائقة (Kalloo ١٩٩٣).

٢–أن تكون الثمار صلبة؛ لكى تتحمل عمليات الحصاد والتداول دون الحاجة إلى استعمال عبوات صغيرة.

٣–تفضل — بالنسبة لأصناف التصنيع — الأشكال المكعبة الدائرية square round، والبيضاوية، والكمثرية، والمستطيلة؛ لأنها أكثر قدرة على تحمل الضغط الذى يقع عليها تحت ثقل الثمار التى تعلوها فى العبوات الكبيرة؛ حيث يقع الضغط على مساحة أكبر من الثمرة.

٤- أن تتحمل الثمار الحمراء البقاء على النباتات دون حصاد — لمدة أسبوعين — لحين اكتمال نضج بقية الثمار. ولا ينطبق هذا الشرط على أصناف الاستهلاك الطازج التى تحصد آليًّا؛ وذلك لأنها تحصد أثناء طور النضج الأخضر، أو فى بداية التلوين.

٥- تفضل الأصناف التى تنفصل ثمارها عن العنقود فى الوقت المناسب؛ فلا تكون سهلة الانفصال بدرجة كبيرة بحيث تقع بمجرد جذب آلة الحصاد للنبات، ولا تكون صعبة الانفصال بحيث لا تنفصل عن النبات أثناء مروره على آلة الحصاد.

٦- تفضل الأصناف ذات الثمار العديمة المفصل jointless فى عنق الثمرة؛ حتى لا يتبقى جزء من العنق بعد الحصاد يمكنه أن يخترق الثمرة المجاورة. ويعد هذا الشرط أكثر ضرورة فى أصناف الاستهلاك الطازج التى تحصد آليًّا.

يتكون عنق الثمرة فى الثمار العديمة المفصل من جزء واحد لا يحتوى على مفصل joint؛ كالذى يوجد فى ثمار الأصناف التى تتكون فى عنقها منطقة انفصال abcession zone.

وتفيد هذه الصفة فيما يلى:

أ- تمنع انفصال وسقوط الثمار مبكرًا قبل التقاط ماكينة الحصاد للثمار.

ب- تجعل انفصال الثمار من العنق تامًّا، وبذا.. لا تحدث الأضرار التى تنشأ عن اختراق عنق الثمرة للثمرة المجاورة لها، والتى تؤدى إلى تلف الثمار المصابة، وتغير طعم المنتج النهائى بعد التصنيع. وتفضل مصانع الحفظ ألا تزيد نسبة الثمار التى تظل محتفظة بأعناقها على ٢٠٪ كحد أقصى (Stevens ١٩٧٩).

ويوجد جينان يؤثران على صفة انعدام المفصل، هما:

أ- الجين J-2: ومصدره إحدى سلالات النوع البرى *S. cheesmaniae*. وهذا الجين يلغى المفصل نهائيًّا.

ب–الجين $J\text{-}2^{in}$: ومصدره عديد من السلالات الأخرى من نفس النوع البرى السابق. وهذا الجين يجعل المفصل غير فعال. وقد أدخل الجين J-2 فى عديد من الأصناف. ومن أهم عيوبه أنه يجعل الكأس تلتحم بالثمرة (Rick ١٩٨٢).

يعتبر صنف الطماطم VF 145-B-7879 هو أول صنف طماطم أُنتج فى العالم لغرض الحصاد الآلى، وكان ثمرة بحوث وتعاون مشترك بين كل من J. D. Hanna، و C. Lorenzon دامت من عام ١٩٤٩ إلى عام ١٩٦٢ (عن Whitaker ١٩٧٩). وللتفاصيل الخاصة لقصة إنتاج هذا الصنف.. يراجع Stevens & Rick (١٩٨٦). ويتوفر فى هذا الصنف عدد كبير من الصفات التى سبقت الإشارة إليها، ولكن تعوزه بعضها. وهو صنف ممتاز بكل المقاييس؛ مما جعله يحتل مركز الصدارة فى كاليفورنيا لمدة عشر سنوات من منتصف الستينيات إلى منتصف السبعينيات من القرن العشرين، حينما بدأت تحل محله أصناف أخرى أكثر صلابة؛ بسبب الحاجة إلى نقل الثمار من الحقول إلى المصانع فى عربات ضخمة تبلغ حمولتها عشرة أطنان؛ للتوفير فى نفقات النقل، بينما لا تتحمل ذلك ثمار الصنف VF 145-B-7879.

وتنتشر الآن – فى جميع أنحاء العالم – أصناف الطماطم التى تصلح للحصاد الآلى، ويعرف منها فى مصر – بالإضافة إلى الصنف السابق – الأصناف: UC 82، و UC 97-3، و Peto 86.

الفصل الثانى

بعض أوجه وتحديات التربية لتحسين صفات الجودة

تحديات وإيجابيات

تُواجه جهود التربية لتحسين بعض صفات جودة الثمار بآثار سلبية على المحصول، فقد تبين من دراسة أجريت على أصناف الطماطم اليابانية المحسنة التى كان التركيز فيها على تحسين صفات الجودة المتعلقة بالطعم — وخاصة محتوى الثمار من المادة الجافة والمواد الصلبة الذائبة الكلية — أن ذلك الاتجاه — الذى أفرز تحسنًا فى صفات الجودة — كان على حساب كمية المحصول (Higashide وآخرون ٢٠١٢).

وترتبط مختلف صفات الجودة — سلبًا أو إيجابًا — بصفات جودة أخرى وبصفات نباتية هامة؛ الأمر الذى تتضح أبعاده فى جدول (٢-١). وطبيعى أن الارتباطات الموجبة تفيد المربى، بينما تُعد الارتباطات السالبة معوقة له.

جدول (٢-١): الارتباطات بين صفات الجودة وبعض الصفات النباتية الأخرى (Radwan وآخرون ١٩٧٩).

الصفة	نوع الارتباط	الصفات المرتبطة
النمو المحدود	موجب	المحصول المبكر، والمحتوى المرتفع من كل من فيتامين ج. والحموضة المعايرة.
النمو غير المحدود	موجب	حجم الثمرة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بها.
قوة النمو الخضرى	سالب	محتوى الثمار من فيتامين ج.
المحصول الكلى	موجب	وزن الثمرة، وعدد الثمار بالنبات.
المحصول الكلى	سالب	المحصول المبكر، ومحتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية
المحصول المبكر	موجب	عدد الثمار بالنبات، ومحتواها من الحموضة المعايرة.
الحموضة المعايرة	موجب	محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية

يتبع

تابع جدول (٢-١):

الصفة	نوع الارتباط	الصفات المرتبطة
المواد الصلبة الذائبة الكلية	سالب	حجم الثمرة.
نسبة السكريات	موجب	محتوى الثمار من فيتامين ج.
الحموضة المعايرة	سالب	حجم الثمرة وعدد حجراتها.
صلابة الثمرة	سالب	حجم الثمرة، وعدد حجراتها؛ ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بها.
صلابة الثمرة	موجب	سمك الجدر الثمرية.
وزن الثمرة	موجب	عدد الحجرات بالثمرة.
وزن الثمرة	سالب	محتوى الثمرة من فيتامين ج؛ والحموضة المعايرة.

ومن أبرز تحديات التربية لتحسين صفات الجودة تأثر تلك الصفات بالعوامل البيئية، فقد أظهرت بعض صفات جودة ثمار الطماطم (وهى محتوى المواد الصلبة الذائبة، وفيتامين ج، والحموضة الكلية المعايرة) تباينًا كبيرًا جدًّا فى المواقع المختلفة للزراعة، وصل إلى تغير بنسبة ٢١١٪ فى سلوك بعض التراكيب الوراثية. وأظهر الليكوبين أكبر قدر من التأثر بالعوامل البيئية، بينما كانت الحموضة الكلية المعايرة الأقل تأثرًا. وقد توافق ذلك مع تقديرات كفاءة التوريث التى بلغت ١٦٪ لليكوبين، بينما قدرت بنحو ٨٧٪ للحموضة الكلية المعايرة (Panthee وآخرون ٢٠١٢).

وقد وجد أن سلالة الطماطم lecer6 تفتقر إلى القدرة على إنتاج الإنزيم β-ketoacyl-Coenzyme A synthase (اختصارًا: LeCER6) الذى يلعب دورًا فى عملية تمثيل الشمع المغطِّى لبشرة الثمرة. وتبين أن لهذا الجين تأثيرات أخرى متعددة على عديد من الصفات البستانية الهامة والخصائص الفسيولوجية (Ehret وآخرون ٢٠١٢).

هذا.. إلاّ أن التربية فى بعض الأوجه لا تعنى بالضرورة حدوث تراجع فى صفات الجودة، فقد أظهرت دراسة أجريت على مدى التحسين فى أصناف طماطم التصنيع خلال العشرين عامًا السابقة للدراسة (١٩٧٧-١٩٩٦) فى كل من كاليفورنيا وإسرائيل، ما يلى (Grandillo وآخرون ١٩٩٩):

الصفة	مدى التحسين السنوى (٪) فى	
	كاليفورنيا	إسرائيل
محصول الثمار	١,٥٤	٠,٤
نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية	غير جوهرى	٠,٥٣
نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية × المحصول	١,٥	٠,٩
لون الثمار	١,١٥	٢,٧٣

إن التربية لتحسين صفات الجودة تتضمن كل صفات الثمرة تقريبًا، وهى الأمور التى سنتناولها بالشرح فى هذا الفصل والفصول التالية. ومن الأمور التى قد لا يفكر فيها الكثيرون مدى صلاحية الثمار للتعليب. ذلك لأن تعبئة ثمار الطماطم كاملة فى العلب تتطلب إزالة جلد الثمرة دون الإضرار بها. وتؤدى هذه العملية إلى تلف نسبة كبيرة من الثمار؛ ففى كاليفورنيا.. تتلف أربع ثمار مقابل كل ثمرة يتم سلخ جلدها بصورة جيدة تصلح معها للتعليب؛ لذا.. فإن التربية لسهولة سلخ جلد الثمرة من الأهمية بمكان فى تلك الصناعة (عن Stevens ١٩٧٩).

ويعتبر صنف الطماطم موريتا Murrietta من أصلح أصناف الطماطم للتعليب، لسهولة سلخ جلد ثماره.

وراثة بعض صفات الجودة

فى دراسة تضمنت ٩٠ تركيبًا وراثيًا من الطماطم (١٥ سلالة محسنة، و ٤ سلالات اختبارية، و٦٠ هجينًا ما بين السلالات المحسنة والسلالات الاختبارية) ثم تقييمها فى موعدين للزراعة، وُجد أن الفعل المضيف كان هو السائد لكل من: متوسط وزن الثمرة، ودليل شكل الثمرة، ومحتواها من الليكوبين، بينما كان التباين غير المضيف هو السائد لكل من: دليل الصلابة، وعدد حجرات الثمرة، وسمك الجدار الثمرى، ومحتوى الثمار من المواد الصلبة التى لا تذوب فى الكحول، ونسبة المادة الجافة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية، والحموضة المعايرة، ونسبة المواد الصلبة الذائبة إلى الأحماض، والـ pH، ومحتوى حامض الأسكوربيك، وفترة الصلاحية للتخزين (Garg وآخرون ٢٠٠٨).

كما وجد لدى دراسة معامل التوريث فى المعنى العام للصفات الفسيولوجية / الكيميائية (الليكوبين، والحموضة المعايرة الكلية، والمواد الصلبة الذائبة الكلية، وفيتامين ج) والصفات المورفولوجية (شكل الثمرة وحجمها) فى ٤٤ صنفًا قديمًا (عتيق أو كلاسيكى vintage) من الطماطم.. وُجد أن كفاءة التوريث تراوحت بالنسبة للصفات الفسيولوجية / الكيميائية بين ٥,٨٪ لصفة محتوى الليكوبين، و٣٥,٧٪ للحموضة المعايرة الكلية، وتراوحت بالنسبة للصفات المورفولوجية بين ٨,١٪ لصفة عدم انتظام وضع مركز الثمرة proximal eccentricity إلى ٩٧,٣٪ لصفة دليل شكل الثمرة، وتراوحت بالنسبة للون من ٦٩,٠٪ للـ a*-value إلى ٩٩,٣٪ للـ b*-value (Panthee وآخرون ٢٠١٣).

وأمكن التعرف على ٢٢٢ QTLs تتحكم فى ١٥ صفة من صفات الجودة فى طماطم التصنيع (مثل السكريات والأحماض العضوية والطعم وغيرها). وكان لإحدى الـ QTL تأثيرات جوهرية جدًا ترتبط بنسبة السكريات إلى حامض الجلوتامك، وهى الصفة عالية الارتباط بالطعم الجيد (Fulton وآخرون ٢٠٠٢).

كما أمكن باستخدام واسمات RFLP تمييز ٢٩ جينًا — تُحمل على أحد عشر كروموسومًا من كروموسومات الطماطم الإثنى عشر — وتتحكم فى صفات محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية، و pH الثمار، ومتوسط وزن الثمرة. يُستفاد من تلك الواسمات فى التعرف على نباتات الجيل الثانى الحاملة للجينات المتحكمة فى الصفات ذات كفاءة التوريث المنخفضة مثل محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية، بينما تتساوى أهميتها مع الشكل المظهرى فى التعرف على النباتات الحاملة للجينات المتحكمة فى الصفات ذات كفاءة التوريث المتوسطة مثل pH الثمرة، ولا يكون لها أهمية بالنسبة للصفات ذات كفاءة التوريث العالية مثل متوسط وزن الثمرة (Paterson وآخرون ١٩٩١).

حجم الثمرة، ووزنها، وعدد حجراتها

يختلف الحجم المناسب لثمرة الطماطم باختلاف ذوق المستهلك. ويفضل المستهلك العربى – عادة – الثمار المتوسطة إلى الكبيرة الحجم التى يتراوح وزنها من ١٠٠–١٣٠ جم. أما أصناف التصنيع.. فإن ثمارها تكون – غالبًا – صغيرة الحجم. وعادة.. تستخدم كلمتا الوزن والحجم دونما تمييز بينهما.

تدل الدراسات التى أجريت على حجم أو وزن ثمرة الطماطم أن تلك الصفة كمية يتحكم فيها عدة جينات تؤثر فى كل من عدد وحجم خلايا الثمرة. ولكن اختلفت نتائج الدراسات بشأن طبيعة تأثير هذه الجينات؛ فذكر بعض الباحثين أن تأثيرها مضيف additive بصفة رئيسية، بينما ذكر آخرون خلاف ذلك. ففى دراسة وراثية أجريت على سلالتين من الطماطم هما: Mo. Accession 223 التى يبلغ متوسط وزن ثمارها ٢٣,٣ جم و I-417-1 التى يبلغ متوسط وزن ثمارها ١٦٧,٤ جم .. وجد أن عدد الجينات التى تتحكم فى متوسط وزن الثمرة يتراوح من ١١–٢٠ زوجًا، وكانت صفة الثمار الصغيرة سائدة جزئيًّا، بينما كانت الجينات ذات تأثير هندسى متجمع geometrically cumulative. وقد قدرت كفاءة توريث هذه الصفة فى المعنى العام بنحو ٢٩٪، إلا أن هذا التقدير ارتفع إلى ٧١٪ فى دراسة أخرى (Cuaetero & Cubero ١٩٨٢).

والملاحظ أن عدد حجرات الثمرة يتراوح عادة من ٢–٣ حجرات في أصناف التصنيع ذات الثمار الصغيرة، بينما يزيد العدد على ذلك فى أصناف الاستهلاك الطازج ذات الثمار الأكبر حجمًا. كما يكون عدد الحجرات منخفضًا كذلك فى الأصناف ذات الثمار الكريزية الشكل الصغيرة الحجم. وتبعًا لـ Boswell (١٩٣٧).. فإن العدد المنخفض للحجرات (حجرتان/ ثمرة) صفة بسيطة سائدة. إلا أن الدراسات الحديثة نسبيًّا تظهر أن عدد الحجرات بالثمرة صفة كمية تقدر درجة توريثها فى المعنى العام بنحو ٦٦٪.

وقد أمكن التعرف على QTL – أُعطيت الرمز fw2.2 – تقع على نفس الموقع على الكروموسوم٢ فى كل من *S. pennellii*، و *S. pimpinellifolium*، وإليها يعود ٤٧٪، و ٣٠٪ من التباين فى حجم الثمار فى النوعين، على التوالى (Alpert وآخرون ١٩٩٥).

ولقد أمكن عزل الجين fw.2.2 من الطماطم، ووجد أنه المسئول عن الفرق فى حجم ثمار السلالات المكسيكية الصغيرة الحجم وحجم ثمار نظيراتها من الأصناف ذات الثمار الكبيرة الحجم جدًّا (Doebley ٢٠٠٠)، ويُعتقد بأن هذا الجين لعب دورًا جوهريًّا فى تطور صفة حجم الثمرة فى الطماطم المنزرعة (Frary وآخرون ٢٠٠٠).

وتُعد الـ QTL المعروفة بالرمز fw2.2 مسئولة عن نحو ٣٠٪ من الاختلافات فى حجم الثمرة بين الطماطم التجارية ذات الثمار الكبيرة وأنواعها البرية القريبة ذات الثمار الصغيرة. وفى دراسة استخدمت فيها سلالات ذات أصول وراثية متماثلة تبين أن هذا الجين يؤثر فى حجم مبايض الأزهار؛ ومن ثم حجم الثمار المنتجة، لكن ذلك يتم تعويضه بإنتاج عدد كبير من الثمار؛ الأمر الذى يرجع – أساسًا – إلى حدوث زيادة جوهرية فى أعداد النورات، ولكن دون أن يحدث تغير فى الكتلة الكلية للثمار (Nesbitt & Tanksley ٢٠٠١).

كذلك يعد الجين fw3.2 أحد المواقع الرئيسية التى تتحكم فى وزن ثمرة الطماطم، كما أن لها تأثير ثانوى على شكل الثمرة (Zhang وآخرون ٢٠١٢).

وفى دراسة على الـ QTLs التى تتحكم فى حجم ثمار الطماطم فى تلقيح بين سلالة من *S. pimpinellifolium* (يبلغ متوسط وزن ثمرتها جرام واحد) والصنف المتوارث Giant Heirloom (الذى يحمل ثمارًا يزيد وزنها عن الكيلوجرام) أمكن التعرف على ست QTLs تُحمل على الكروموسومات ١، و٢، و٣، و ١١. لم تكن أى من تلك الـ QTLs جديدة، لكن الجديد أنها ظهرت – جميعها – فى تلقيح واحد؛ بما يعنى أن الصنف Giant

Heirloom قد تجمعت فيه كل العوامل الوراثية المسئولة عن زيادة حجم الثمرة. ولقد أمكن عزل إحدى الـ QTLs، وهى: fw2.2، وهى التى تُظهر تأثيرها على حجم الثمرة من خلال تحكمها فى انقسام الخلايا خلال المراحل المبكرة لتكوين الكرابل والثمرة. ووجد أن إحدى الـ QTL (وهى: fw11.3, lcn11.1) تُحدث تأثيرها من خلال تحكمها فى عدد الكرابل والحجيرات، وهو نفس التأثير الذى تُحدثه QTL أخرى (هى: fw2.1, lcn2.1). وقد اقترح أن هاتين الـ QTLs هما ذاتهما الجينان اللذان سبق وصفهما: f (من fascinated)، و lc (من locule number) (Lippman & Tanksley ٢٠٠١).

ويُعرف حاليًا جينان يتحكمان فى وزن ثمرة الطماطم، وجينان آخران يتحكمان فى عدد الحجرات بالثمرة، وهى الصفة التى تؤثر – بدورها –فى وزن الثمرة. وقد أمكن التعرف على ثلاث من الـ QTLs التى تؤثر على كلتا الصفتين، تقع إحداها (fw11.2) على الطرف البعيد للكروموسوم ١١ أعلى الجينين المعروفين fas، و fw11.3، وتقع الثانية (fw1.1) فى المنطقة الـ pericentromeric على الكروموسوم ١، وتقع الثالثة (fw3.3) على مسافة حوالى ١,٦ Mb (أسفل جين معروف لوزن الثمرة هو: SIKLUH/FW3.2. وتم كذلك التعرف على ثلاث QTLs أخرى أقل أهمية (Illa-Berenguer وآخرون ٢٠١٥).

كذلك أمكن التعرف على أربع QTLs على الكروموسوم ٢، وثلاث QTLs على الكروموسوم ٨ خاصة بصفات مورفولوجية للثمرة، وذلك من تلقيح بين صنف الطماطم Rio Grande والسلالة LA1589 من *S. pimpinellifolium* (Green وآخرون ٢٠١٦).

شكل الثمرة

يهتم مربى الطماطم حاليًا بطراز شكل الثمار "سالاديت" saladette، وهو الطراز الذى يكون فيه طول الثمرة ضعف عرضها تقريبًا (الطول هو القطر القطبى والعرض هو القطر الاستوائى). كان الصنف Rio Grande هو أول الأصناف التى أُنتجت من هذا

الطراز، وقد أصبح — حاليًا — أكثر طُرز أشكال الثمار انتشارًا فى جميع أنحاء العالم؛ ربما لأنه يجمع ما بين خصائص جودة الثمار لكلٍ من أصناف الاستهلاك الطازج الكروية وأصناف التصنيع المكعبة الدائرية square round. ولهذه الثمار خصائص التركيب الداخلى وسمك الجدر لأصناف التصنيع، والتى تسمح بزيادة الصلاحية للتخزين وتحمل التداول أثناء الشحن والتسويق، إضافة إلى احتوائها على بعض الجل والعصير؛ مما يجعل جودتها مقبولة للاستهلاك الطازج (Heisey ٢٠١٥).

يتحكم فى شكل الثمرة البيضاوى oval جين متنحٍ يأخذ الرمز o. وعن وجود هذا الجين بحالة متنحية أصيلة مع جين آخر متنحٍ (يأخذ الرمز c) بحالة متنحية أصيلة فإن الشكل البيضاوى يُصبح كمثرى، ويرجع ذلك إلى أن الجين c يجعل التويج يضغط بقوة على الثمرة فى مرحلة مبكرة جدًا من نموها؛ مما يؤدى إلى تحززها؛ ومن ثم ظهورها بشكل كمثرى مع استمرار تكوينها (Warnock ١٩٩٠).

وقد دُرست وراثة شكل ثمرة الطماطم الكمثرى فى الصنف Yellow Pear فى تلقيحات مع السلالة كروية الثمار LA1589 من *S. pimpinellifolium*، ووجد أنه يتحكم فى الصفة QTL رئيسية تُحمل على الكروموسوم رقم ٢. وبدرجة أقل QTL-ثانوية تُحمل على الكروموسوم رقم ١٠. وتبين أن الجين الذى يُحمل على الكروموسوم ٢ هو — ذاته — ما سبق أن أُعطى الاسم ovate فى دراسات مبكرة. كما وجد أن دليل شكل الثمرة (الطول/ القطر) وتحزز عنق الثمرة يرتبطان بدرجة عالية؛ بما يعزز الافتراض بأن الجين ovate يتحكم فى كلتا الصفتين، أو أن الجينات التى تتحكم فيهما وفى صفة الثمرة الـ ovate شديدة الارتباط على الكروموسوم ٢. هذا.. ولم يظهر أى تفاعل بين الـ QTL الثانوية على الكروموسوم ١٠ والجين ovate على الكروموسوم ٢ فيما يخص دليل شكل الثمرة (Ku وآخرون ١٩٩٩).

ويتحكم فى وراثة شكل ثمرة الطماطم المطاول elongated — كما ظهر فى طفرة من صنف الطماطم Sun 1642 — مقارنة بالشكل الكامل الكروية — كما يوجد فى السلالة LA1589 من النوع البرى *S. pimpimellifolium* — جينًا واحدًا يقع على الكروموسوم ٧، أُعطى الاسم sun. يتحكم هذا الجين فى تطور تكوين الثمرة خلال الأسبوعين التاليين للتلقيح (Van der Knaap & Tanksley ٢٠٠١).

وأمكن التعرف على أربع QTLs رئيسية تتحكم فى مواصفات شكل ثمرة الطماطم (Brewer وآخرون ٢٠٠٧).

كذلك دُرست وراثة شكل الثمار شديدة الاستطالة فى تلقيح بين الصنف Long John ذات الثمار الشديدة الاستطالة والسلالة LA1589 من *S. pimpinellifolium* ذات الثمار التامة الكروية، وبدراسة نباتات الجيل الثانى أمكن التعرف على أربع QTLs تتحكم فى شكل الثمرة، تقع على الكروموسومات ٢، و ٣، و٧، و١١. ويعد الدور الأساسى للـ QTL التى تقع على الكروموسوم ٧ — وهىlifs7 — التحكم فى استطالة الجدار الثمرى الخارجى (الـ pericarp). أما تلك التى تقع على الكروموسومات ٢ (lifs2)، و ٣ (lifs3)، و ١١ (lifs11)، فإنها تتحكم فى الشكل الكمثرى. وقد تبين أن lifs2، و Lifs7 آليليان لجينى شكل الثمرة المعروفين ovate، و sun، على التوالى. أما lifs3، و lifs11 فقد كانا قريبين من جينى شكل الثمار — الأقل تمييزًا ودراسة — fs3.2، و fs11.1، على التوالى (Van der Knaap وآخرون ٢٠٠٢).

وقد لجأ المربون إلى انتخاب سلالات من الطماطم تتميز ثمارها بالطرف الزهرى المدبب؛ لأجل تجنب التشوهات التى تظهر بالطرف الزهرى، والتى منها النُدَب scars الكبيرة والصور المخففة من ظاهرة وجه القط catface.

ومن بين الطفرات ذات الطرف الزهرى المدبب المعروفة، ما يلى:

الطفرة	الصنف أو السلالة التي ظهرت فيها
(pst) persistent style	LA 2-5
(bk) beaky	LA 986
(bk-2) beaky-2	LA 1787
(n) nipple tip	LA 2353
n-2	NC 140
n-3	Fla 890559-24
n-4	Fla 894413-1

وبينما ترتبط صفة الطرف الزهرى المدبب بالتفاف الأوراق لأعلى فى الطفرات الأربع الأولى — الأمر الذى قد يتسبب فى حدوث مشاكل مرضية — فإن ذلك الارتباط لا يوجد فى الطفرات الثلاث الأخيرة (Barten وآخرون ١٩٩٢).

وكما أسلفنا قد يمكن الاستفادة من صفة الطرف الزهرى المدبب للثمار فى خفض معدلات الإصابة بوجه القط فى أصناف طماطم الاستهلاك الطازج، إلاّ أن الاستفادة من تلك الصفة ظلت محدودة بسبب استمرار ظهورها فى الثمار الناضجة؛ مما يترتب عليه زيادة فى خدوش الثمار بعد الحصاد؛ فضلاً عن ارتباط تلك الصفة بصفة التفاف الأوراق التى قد تزيد من معدلات الإصابات المرضية بالنموات الخضرية.

ولقد دُرست وراثة صفة الطرف الزهرى المدبب فى ثلاث سلالات تربية، هى: NC 140، و Fla 890559-24، و Fla 894413-1، وأربع سلالات ذات طرف زهرى سبق تحديده ووصفه، وهى: LA 2-5 ذات القلم الدائم persistent style (أو pst)، و LA 986 ذات المنقار beaky (أو bk)، و LA 1787 ذات المنقار أيضًا beaky-2 (أو Bk-2، والذى أثبتت الدراسة أنه متنح، وأُعطى الرمز bk-2)، و LA 2353 ذات الحلمة nipple tip (أو n). وأمكن التوصل إلى تعريف ثلاث جينات لمظهر الحلمة، هى

تلك التى أسلفنا بيانها: n-2 فى NC 140، و n-3 فى Fla 890559-24، و n-4 فى Fla 894413-1. وبدا أن LA 986، و LA 2-5 يحتويان على نفس الجين. هذا.. ولم تكن صفة التفاف الأوراق جوهرية فى أى من التراكيب الوراثية التى شملتها الدراسة (Barten وآخرون ١٩٩٤).

الفصل الثالث

التربية لتحسين محتوى الثمار من السكريات – المكون الرئيسى للمواد الصلبة الذائبة الكلية

تتكون المواد الصلبة الكلية total solids من كل مكونات الثمرة فيما عدا الماء والمواد القابلة للتطاير التى تفقد أثناء التجفيف. ويعد الرفراكتومتر أكثر الأدوات استخدامًا لقياس نسبة المواد الصلبة الذائبة، وتعرف القيم التى تقدر بهذا الجهاز باسم المواد الصلبة الذائبة الكلية total soluble solids، وهى ترتبط بشدة بالمواد الصلبة الكلية. يشكل الفراكتوز والجلوكوز (وهما من السكريات المختزلة) نسبة عالية من المواد العضوية فى ثمرة الطماطم (جدول ٣-١). وكلما زادت نسبة المواد الصلبة الكلية.. زادت نسبة السكريات المختزلة إلى المواد الصلبة الكلية. ولكن تشذ هذه القاعدة عندما ينتخب المربى صفة الثمار الصلبة التى تزيد فيها نسبة المواد الصلبة غير الذائبة insoluble solids.

وبالرغم من كثرة الجهود التى بذلها مربى الطماطم لإنتاج أصناف أعلى محتوى من المواد الصلبة الكلية، إلا أن هذه المحاولات لم تكن على درجة عالية من النجاح — عادة — بسبب وجود علاقة سالبة بين المحصول ومحتوى الثمار من المواد الصلبة، وبسبب تأثر المواد الصلبة بعديد من العوامل الأخرى؛ مثل: الرطوبة الأرضية، وقوام التربة، ودرجة الحرارة، وشدة الإضاءة، ومقاومة الأمراض. فمثلاً.. تؤثر الأمراض التى تصيب الجهاز الوعائى فى نسبة المواد الصلبة بدرجة أكثر من الاختلافات بين التراكيب الوراثية فى هذه الصفة.

مكونات المواد الصلبة الكلية

تتراوح نسبة المواد الصلبة الكلية فى ثمار الطماطم الحمراء الناضجة من الأصناف العادية من ٤,٥٪-٦,٥٪، وتشكل السكريات المختزلة أهم هذه المكونات. ويمكن اتخاذ نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية كدليل على نسبة السكريات المختزلة؛ حيث وُجد ارتباط قوى بينهما، كما وجد ارتباطان آخران بين درجة حلاوة الثمار وبين كل من نسبة السكريات المختزلة ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية (Stevens وآخرون ١٩٧٩).

ويبين جدول (٣-١) المدى الذى توجد عليه مختلف هذه المكونات الصلبة فى أصناف الطماطم، وأهمية كل منها بالنسبة لأصناف الاستهلاك الطازج ومختلف المنتجات المُصنَّعة عن (Stevens ١٩٨٦ أ). أما جدول (٣-٢).. فيبين المتوسط العام الذى توجد عليه كل من هذه المكونات الصلبة فى كل من أصناف الاستهلاك الطازج وأصناف التصنيع، ومدى التحسين الذى يمكن الوصول إليه فى هذه الصفات بالتربية (عن Stevens ١٩٨٦ ب).

جدول (٣-١): المدى الذى توجد عليه المكونات الصلبة فى أصناف الطماطم، وأهمية كل منها بالنسبة لأصناف الاستهلاك الطازج، ومختلف المكونات المُصنَّعة.

المكونات الصلبة	المدى فى الثمار الناضجة الحمراء من الأصناف العادية	أهمية مختلف المواد الصلبة بالنسبة لكل من: الطماطم الطازجة	العصير	الصلصة (المعجون)
المواد الصلبة الكلية	٤,٥-٦,٥٪			
السكريات	٢,٠-٣,٧٪	الطعم: يتحدد بكل من	الطعم	تتناسب كمية المنتج (من وحدة
الجلوكوز	٠,٩-١,٧٪	محتوى السكريات المرتفع		الوزن من الثمار) طرديًا
الفراكتوز	١,١- ٢,٠٪	مع نسبة معينة من		مع نسبة السكريات
السكروز	صفر- ٠,١٪	السكريات إلى الأحماض		
المواد غير الذائبة فى الكحول	٠,٧-٢,٥٪	الصلابة والقوام	اللزوجة	اللزوجة العالية وزيادة محصول
الـ polygalacturonides	٠,٣-١,٢٪	والصلاحية للتخزين		المنتجات التى تعتمد عليها كالكاتشب
الـ polysaccharides	٠,٤-١,٦٪			
الرماد	٠,٥-٠,٧٪	البوتاسيوم: منظم هام	مثل الثمار الطازجة	مثل الثمار الطازجة
		وضرورى للحموضة		
		الفوسفور: منظم هام		
		الكالسيوم: الصلابة		
الأحماض	٧٠-١٣٠ ملليكمافئ/لتر	أهم المكونات الصلبة	الطعم وقلة النشاط	قلة النشاط الميكروبى بسبب
		تأثيرًا على الحموضة		
الستريك	٦٥-١٢٠ ملليمكافئ/لتر		الميكروبى بسبب	انخفاض الـ pH
الماليك	٦-٢١ ملليمكافئ/لتر		انخفاض الـ pH	

يتبع

تابع جدول (٣-١).

المكونات الصلبة	المدى فى الثمار الناضجة الحمراء من الأصناف العادية	أهمية مختلف المواد الصلبة بالنسبة لكل من الطماطم الطازجة	العصير	الصلصة (المعجون)
المواد الكاروتينية	٤٠–٦٥ ميكروجرام/جم	اللون	اللون	يؤثر اللون على نوعية وكمية المنتج
الليكوبين	٣٥–٦٠ ميكروجرام/جم			
البيتا–كاروتين	٣–٨ ميكروجرام/جم			
المواد القابلة للتطاير (أكثر من ١٠٠ مركب)	١٠ ميكروجرامات/جم	الطعم المميز	الطعم	تفقد جميع المركبات الأصلية أثناء التركيز، ويتكون غيرها أثناء التخزين

جدول (٣–٢): المتوسط العام لمختلف المكونات الصلبة فى كل من أصناف الاستهلاك الطازج وأصناف التصنيع، ومدى التحسين الذى يمكن الوصول إليه فى هذه الصفات بالتربية.

المواد الصلبة	أصناف الاستهلاك الطازج		أصناف التصنيع		المصادر الوراثية لتحقيق المستوى المرغوب
	الحالى	الممكن	الحالى	الممكن	
الكلى	٥,٨٪	٧,٥٪	٥,٧٪	٧,٥٪	*S. chmielewskii* *S. cheesmaniae*
السكريات المختزلة	٣,٢٪	٤,٣٪	٢,٧٪	٣,٩٪	*S. chmielewskii* *S. cheesmaniae*
المواد غير الذائبة فى الكحول	٠,٧٪	١,٢٪	١,٢٪	١,٦٪	Florida 9039 وسلالات أخرى صلبة جدًا
الأحماض الكلية	٠,٨٪	٠,٩٪	٠,٧٪	٠,٩٪	P1263713 وسلالات أخرى عالية الحموضة
المواد الكاروتينية	٤٠ ميكروجرام/جم	٩٠ ميكروجرام/جم	٤٨ ميكروجرام/جم	٨٠ ميكروجرام/جم	الجين dg
البيتا–كاروتين	٥ ميكروجرام/جم	١٠ ميكروجرامات/جم	٥ ميكروجرامات/جم	١٠ ميكروجرامات/جم	الجين dg

العوامل المؤثرة فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة

إلى جانب التركيب الوراثى، فإن محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة يتأثر بعدد

من العوامل نبينها فيما يلى:

طبيعة النمو

توجد علاقة بين طبيعة نمو نبات الطماطم ونسبة المواد الصلبة بثماره. ويبين جدول (٣-٣) تلك العلاقة لثلاثة أصناف من الطماطم، أُنتج من كل منها — بطريقة التهجين الرجعى — ثلاث سلالات تختلف فى طبيعة نموها، هى: المحدودة النمو (تحتوى على الجين sp)، وغير المحدودة النمو (تحتوى على الجين +sp) والمتقزمة (تحتوى على الجين d). أظهرت الطرز غير المحدودة النمو تفوقًا فى محتوى ثمارها من المواد الصلبة الذائبة الكلية عن الطرز المحدودة النمو. وباستثناء الصنف Gardner.. كانت الطرز المتقزمة متشابهة فى محتوى ثمارها من المواد الصلبة الذائبة الكلية مع الطرز المحدودة النمو، بينما كانت ثمار الطراز المتقدم من الصنف Gardner أقرب فى محتواها من المواد الصلابة الذائبة الكلية لمحتوى ثمار الطراز غير المحدود النمو من نفس الصنف.

جدول (٣-٣): تأثير طبيعة النمو على نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى ثمار ثلاثة أصناف من الطماطم.

طبيعة النمو	نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى الأصناف		
	Gardner	Fireball	Cornell 54-149
محدودة النمو	٤,٧٣	٤,٥	٥,٠٠
غير محدودة النمو	٥,٤٠	٥,٢٣	٥,٦٧
متقزمة	٥,٣٣	٤,٤٣	٥,٠٧

مراحل تكوين ونمو الثمار

يُعد السكروز المركب المجهز الرئيسى الذى ينتقل إلى الثمار بدءًا من العقد حتى ١٣ يومًا بعد ذلك حينما يكون النشاط الميتوزى فى أوجه، ويتم تمثيل النشا — سريعًا —

من السكروز؛ الأمر الذى يحفز زيادة انتقال السكروز إلى الثمرة. وبعد نحو ٤٠ يومًا من العقد. يصل محتوى الثمرة من النشا إلى أعلى مستوى له، على الرغم من أن تحلله يبدأ بعد ٢٠ يومًا من العقد. ويحدث الارتفاع الكلايمكتيرى فى الإثيلين والتنفس بعد حوالى ٤٠ يومًا من العقد، ويترافق مع معدل الانتقال العالى للجلوكوز والفراكتوز إلى الثمار، والتحلل السريع للنشا (Beckles ٢٠١٢).

وتصل نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية إلى ٦,٣٪ فى السلالة LA1501، وذلك مقارنة بنحو ٤,٤٪ فى الصنف VF145-B-7879، الذى يشكل مع السلالة أصلان وراثيان متشابهان. ولقد وجد أن نسبة تركيز المواد الصلبة الذائبة إلى تركيز المواد الصلبة الكلية بالثمار تزداد بمقدار ٢٣,٧٪ فى LA1501 (من ٦١,٦٪ إلى ٨٥,٣٪) خلال مرحلة النضج، مقارنة بزيادة مقدارها ٨,٩٪ فقط (من ٦٦,٣ إلى ٧٢,٢٪) فى VF145-B-7879. وفى مرحلة النضج الأحمر يزيد محتوى ثمار السلالة LA1501 من المواد الصلبة الذائبة بمقدار ٤٤٪ عما فى ثمار VF145-B-7879. وقد شكلت الاختلافات فى الفراكتوز والجلوكوز ٤١٪ من التباينات فى محتوى المواد الصلبة الذائبة بين السلالتين (Young وآخرون ١٩٩٣).

حجم الثمار وكمية المحصول

وُجدت علاقة عكسية بين حجم ثمرة الطماطم ونسبة المواد الصلبة بها. ولعل مرد ذلك إلى كون ثمرة الطماطم تنمو بزيادة حجم خلاياها؛ نظرًا لأن عدد الخلايا لا يتغير إلا قليلاً جدًا أو لا يتغير إطلاقًا، ابتداءً من بعد العقد بفترة وجيزة إلى حين اكتمال نضج الثمرة. وقد تتحقق هذه الزيادة فى حجم الخلايا بزيادة محتواها من الرطوبة.

وأظهر تلقيح بين سلالة الطماطم الكريزية *S. lycopersicum* PI 270248 (الطراز cerasiforme) ذات الثمار الصغيرة الغنية بالسكريات، وسلالة الطماطم Fla. 7833-1-1-1 الكبيرة الثمار والعادية (المنخفضة) فى محتواها من السكريات .. أظهر التلقيح أن السكريات

ترتبط إيجابيًّا مع كل من المواد الصلبة الذائبة، والجلوكوز، والفراكتوز، والـ pH، والحموضة المعايرة، وترتبط عكسيًّا مع حجم الثمرة. ولم يرتبط التبكير جوهريًّا مع السكريات، ولكنه ارتبط سلبيًّا مع حجم الثمرة. ويعنى ذلك وجود اتجاه لأن تكون ثمار النباتات المبكرة أقل محتوى من السكريات عن ثمار النباتات المتأخرة. وبينما لم ترتبط السكريات بالمحصول، فإن ثمار النباتات غير المحدودة النمو كانت أعلى جوهريًّا فى محتواها من السكريات عن ثمار النباتات المحدودة النمو.

وأمكن التعرف على ست واسمات RAPD ارتبطت بمحتوى السكر، كانت خمس منها سائدة وواحدة ذات سيادة مشتركة. كذلك ارتبطت خمس من تلك الواسمات بحجم الثمار الصغير، وكانت إحداها ترتبط بالمحصول المنخفض، أما السادسة فإنها ارتبطت بطبيعة النمو غير المحدود (Georgelis وآخرون ٢٠٠٤).

إن صفة التركيز العالى من السكريات التى توجد فى سلالة الطماطم الكريزية PI270248 يتحكم فيها جينات متعددة polygenic ذات تأثير مضيف جوهرى، وبدون تأثير سيادة (Georgelis وآخرون ٢٠٠٦).

وأمكن التعرف على QTL (هى: hs 1a) من *S. chmilelewskii* ترتبط مع زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة، ولكن مع انخفاض فى المحصول واللون الداخلى للثمار (Inai وآخرون ٢٠٠٦).

ولقد أمكن التعرف على QTLs أُدخلت إلى الطماطم من أنواع برية وتؤثر فى نسبة المواد الصلبة الذائبة بالثمار، ولمعظمها تأثير إيجابى على محتوى المواد الصلبة، ولكنها تؤثر سلبًا على محصول الثمار. وأمكن التعرف على أجزاء كروموسومية فى كل من *S. chmielewskii*، و *S. galapagense* لها تأثير إيجابى على محتوى المواد الصلبة بالثمار، بينما تُحافظ على حجم الثمرة والـ pH والمحصول بصورة مقبولة (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧).

المصادر الهامة لصفة محتوى الثمار المرتفع من المواد الصلبة الذائبة

إن من أهم مصادر صفة المحتوى المرتفع من المواد الصلبة الذائبة فى الجنس *Solanum* ما يلى:

١- بعض أصناف وسلالات الطماطم التى تتراوح النسبة فيها من ٧,٢ إلى ١٠,٢ كما يلى:

الصنف أو السلالة	نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية
STEP 375	٧,٢
Century	٧,٤
Yellow Pear	٧,٥
Atkinson	٧,٦
Piecore	٩,٥
P. I. 272649	١٠,٢

٢- بعض سلالات النوع *S. pimpinellifolium* التى يزيد محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية على ضعف النسبة العادية التى توجد فى أصناف الطماطم (عن Robinson ١٩٧٤).

٣- النوع *S. chmielewskii* الذى تبلغ نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية فى ثماره نحو ١٠٪. وقد أمكن بالتهجين بين هذا النوع والطماطم إنتاج سلالات جديدة عالية فى كل من صفتى المحصول ومحتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية؛ مثل السلالة UC211-58، التى تتفوق على الصنفين القياسيين UC 82 (ذو المحصول المرتفع ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية المنخفضة)، و VF 145-B-7879 (ذو المحصول المنخفض ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية المرتفعة) (عن Rick ١٩٧٧).

٤- النوع *S. cheesmaniae*

التباين فى محتوى الثمار من مختلف السكريات ووراثتها

السكريات الكلية

تُشكل السكريات ٥٥٪ إلى ٦٥٪ من المواد الصلبة الذائبة الكلية فى ثمار الطماطم، وحوالى ٥٠٪ من المواد الصلبة الكلية. ويتراوح تركيز المواد الصلبة الذائبة فى هجن الطماطم التجارية بين ٤,٥٪، و٦,٠٪، ويمكن أن يصل إلى ١٥٪ فى ثمار بعض الأنواع البرية (Labate وآخرون ٢٠٠٧).

وبينما تتراوح نسبة المواد الصلبة الذائبة فى ثمار أصناف الطماطم التجارية بين ٤٪، و ٦٪، فإنها ترتفع إلى ١٠٪ فى *S. chmielewskii*، وإلى ١٥٪ فى *L. cheesmaniae*. تقع جينات تتحكم فى المحتوى العالى من المواد الصلبة الذائبة على الكروموسوم رقم ٢ (Kalloo ١٩٩٣).

وقد بينت إحدى الدراسات الوراثية — التى استخدمت فيها سلالتا الطماطم: Mo. 223 التى تبلغ نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية بها ٦,٧٪، و I-417-1 التى تنخفض فيها النسبة إلى ٤,٦٪ — أن تلك الصفة يتحكم فيها ثلاثة أزواج من العوامل الوراثية، وأن كفاءة توريثها تقدر بنحو ٥٩٪ فى المعنى العام، و٣٥٪ فى المعنى الخاص (Ibarbia & Lambeth ١٩٦٩). وفى دراسة أخرى استخدم فيها الصنفان: UC82، و Large Red Cherry. وجد أن صفة المحتوى المرتفع من المواد الصلبة الذائبة الكلية فى الصنف الأخير سائدة جزئيًّا، ويتحكم فيها زوجان من المورثات؛ بينما كانت كفاءة التوريث المقدرة على المدى الواسع ٦٨٪، وعلى المدى الضيق ٢٦٪ (Hassan وآخرون ١٩٨٧). ونتائج هاتين الدراستين متقاربة إلى حد كبير. إلا أن Canti وآخرين (١٩٨٨) وجدوا أن درجة توريث هذه الصفة منخفضة، وأنه تظهر بها تأثيرات مضيفة، أو سيادة، وتفاعل مضيف × مضيف، ومستويات أعلى من التفاعل.

وقد أدى نقل جزء كروموسومى من *S. chmielewskii* إلى الطماطم إلى زيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة، كما تبين فى سلالات ذات أصول وراثية متشابهة من صنف الطماطم VF 145-B-7879 تختلف فى محتواها من ذلك الجزء الكروموسومى؛ بما يسمح باستخدام ذلك الجزء الكروموسومى فى تحسين طماطم التصنيع والاستهلاك الطازج (Yousef & Juvik ٢٠٠١).

النشا

يتواجد النشا بتركيز منخفض فى ثمار الطماطم فى بداية تكوينها، ولكن ذلك النشا يختفى مع اكتمال تكوين الثمار؛ فهو تراكم مؤقت (Labate وآخرون ٢٠٠٧).

ويكون مرد ارتفاع نسبة السكريات السداسية فى بعض السلالات إلى تحلل محتوى ثمارها من النشا، كما تبين من الدراسة التى حُصل فيها على سلالة الطماطم IL8-3 من تلقيح بين النوع البرى *S. pennellii* وصنف الطماطم M82، وهى سلالة تتميز بارتفاع محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية عما فى الصنف M82، على الرغم من عدم اختلافهما فى النمو الخضرى أو المحصول. وقد وجد أن ارتفاع نسبة المواد الصلبة الذائبة فى IL8-3 مرده إلى ارتفاع محتوى ثمارها من السكريات السداسية، وليس من الأحماض العضوية أو السكروز؛ بما يعنى اختلاف آلية زيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة فيها عما فى سلالة الطماطم IL9-2-5 (المتحصل عليها من نفس التهجين النوعى) والنوع *S. chmielewskii* اللذان يتراكم السكروز فى ثمارهما. ولقد تبين أن ثمار السلالة IL8-3– وهى فى مرحلة مبكرة من تكوينها — تكون أعلى فى محتواها من النشا عن ثمار الصنف M82، كما أن ثمار هذه السلالة يزداد فيها نشاط الإنزيم ADP-glucose pyrophosphorylase؛ وبذا.. يمكن الاستنتاج أن ارتفاع محتوى ثمارها الناضجة من السكريات السداسية مرده إلى تحول النشا — الذى يوجد بتركيز عالٍ فى المراحل المبكرة من تكوين ثمارها — إلى سكريات سداسية عند نضجها (Ikeda وآخرون ٢٠١٣).

السكروز

بينما ينخفض تركيز السكروز أو يختفى تمامًا من الثمار المكتملة التكوين فى كل من الطماطم والأنواع البرية ذات الثمار الحمراء، فإن الأنواع البرية ذات الثمار الخضراء يتراكم بثمارها كميات جوهرية من السكريات بالإضافة إلى السكريات المختزلة، ومن تلك الأنواع *S. chmielewskii*، و *S. habrochaites*، و *S. peruvianum* (Labate وآخرون ٢٠٠٧).

يعتقد بأن جينًا يشفر لتمثيل الإنزيم acid invertase بثمار الطماطم، أو أن جينًا آخر – يلزم لنشاطه وتعبيره – يلعب دورًا هامًا فى تحديد تراكم السكروز بالثمار (Yelle وآخرون ١٩٩١).

ويتراكم السكروز – بدلاً من السكريات السداسية فى ثمار كل من السلالة LA1028 من *S. chmielewskii*، والسلالة LA1777 من *S. habrochaites*. وقد تبين أن تلك الصفة يتحكم فيها جين واحد متنح متماثل فى كلا النوعين، وأُعطى هذا الجين الرمز sucr (Chetelat وآخرون ١٩٩٣)، وهو يتحكم فى تمثيل الإنزيم acid invertase (Harada وآخرون ١٩٩٥).

وبينما يتراكم الجلوكوز والفراكتوز فى ثمار الطماطم، مع كميات قليلة من السكروز، فإن ثمار السلالة LA2153 من النوع البرى *S. peruvianum* var. *humifusum* (حاليًّا: *S. arcanum*) يتراكم فيها السكروز بدرجة أكبر من الجلوكوز والفراكتوز. وقد تبين أن تلك الصفة يتحكم فيها – بصورة أساسية – كما فى الأنواع البرية الأخرى التى يزداد السكروز فى ثمارها – جين واحد متنحٍ، هو المسئول عن إنتاج الإنزيم acid invertase (وهو: β-fructofuranoside)، والذى يُحمل على الكروموسوم ٣ بالقرب من واسمة RFLP، هى: TG102 (Egashira وآخرون ١٩٩٩).

يتحكم الجين المتنحى sucr (وهو: sucrose accumulator) فى تراكم السكروز بثمار النوع البرى *S. chmielewskii* كما أسلفنا، وهو يُحمل بالقرب من السنترومير على

الكروموسوم ٣ (Chetelat وآخرون ١٩٩٣). وقد أمكن نقل هذا الجين إلى صنف الطماطم Hunt 100 (الذى يتراكم فيه السكريات السداسية) بالاستعانة بواسمات جزيئية عند الانتخاب للصفة (Chetelat وآخرون ١٩٩٥أ). كانت ثمار النباتات الأصيلة فى الجين أصغر حجمًا من ثمار النباتات الخليطة فى الجين أو العادية، ولكن مع وجود زيادة فى عدد الثمار المنتجة، بحيث لم يتأثر الوزن الكلى للثمار. وقد رافق تراكم السكروز زيادة فى محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة، ولزوجة العصير، ومحصول المعجون (الصلصة)، والحموضة، ودرجة التلوين (Chetelat وآخرون ١٩٩٥ب). هذا.. وترتبط صفة تراكم السكروز بانخفاض شديد فى نشاط الإنزيم acid invertase (وهو: β-fructofuranosidase)، مع مستويات عادية من نشاط الإنزيم sucrose synthase (Yelle وآخرون ١٩٩١).

الجلوكوز والفراكتوز

يُشكل الجلوكوز والفراكتوز أهم السكريات المتراكمة فى ثمار الطماطم وفى الأنواع البرية ذات الثمار الحمراء أثناء تكوينها، وينخفض تركيز السكروز أو يختفى تمامًا من الثمار المكتملة التكوين (Labate وآخرون ٢٠٠٧).

وقد وجد أن إحدى سلالات النوع البرى *S. pimpinellifolium* تحمل الجين β-fructofuranosidase (أو الإنفرتيز acid invertase) على الكروموسوم ٣، ويزداد فيها كثيرًا نشاط هذا الإنزيم مقارنة بما يحدث فى الطماطم، ويتسبب فى تراكم سكر الفراكتوز بثمارها، بينما ينخفض فيها تركيز السكروز مقارنة بما فى الطماطم. وبينما وجد ارتباط قوى بين نشاط الإنفرتيز ومحتوى الثمار من السكريات الذائبة فى *S. pimpinellifolium*، فإن ذلك الارتباط لم يظهر فى ثمار الطماطم عندما نُقل الجين إليها من النوع البرى. وعلى الرغم من زيادة الجين لتركيز الفراكتوز ومنعه لتراكم السكروز فى الطماطم، فإنه لم يؤثر فى محتوى الثمار من السكريات الذائبة الكلية (Husain وآخرون ٢٠٠١).

تُشكل السكريات المختزلة — الجلوكوز والفراكتوز — حوالى ٥٠٪ من المواد الصلبة الذائبة، وهما يتواجدان بنسبة متساوية تقريبًا. ويُعرف جين ذات سيادة غير تامة — حُصل عليه من النوع البرى *S. habrochaites* — بأخذ الرمز Fgr^H — ويؤدى وجوده إلى زيادة نسبة الفراكتوز إلى الجلوكوز عن النسبة المعتادة وهى ١,٠ : ٠,٨. يقع هذا الجين على الكروموسوم ٤، ويتوفر واسم جزيئى يمكن استخدامه فى الانتخاب للجين. ونظرًا لأن الفراكتوز أحلى من الجلوكوز، فإن تلك التقنية قد تكون وسيلة لزيادة حلاوة الثمار (Scott ٢٠٠٢)، كما أمكن التعرف على عوامل وراثية أخرى تؤثر فى نسبة الجلوكوز إلى الفراكتوز بالثمار، مثل الجين Fk2 الذى يقع على الكروموسوم ٦، وهو متفوق على الجين Fgr^H، وربما يخفِّض نسبة الجلوكوز إلى الفراكتوز (Labate وآخرون ٢٠٠٧).

تحديات التربية لتحسين محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة

إن من أكبر تحديات التربية– لزيادة محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية — أن تلك الصفة ترتبط سلبيًّا مع كل من:

١– مستوى الحموضة فى الثمار.. بينما تكون الحموضة العالية ضرورية مع مستوى السكر المرتفع؛ لكى يكون طعم الثمار جيدًا؛ فيجب ألا تقل نسبة السكريات إلى الأحماض (الحموضة المعايرة كنسبة مئوية من حامض الستريك) عن ٨,٥ : ١، بشرط ألا تقل نسبة السكريات عن ٣٪.

٢– المحصول.. ويبلغ معامل الارتباط (r) بينهما ٠,٩٥ (عن Stevens & Rudich ١٩٧٨).

٣– التبكير فى النضج.

الفصل الرابع

التربية لتحسين الرقم الأيدروجينى والحموضة المعايرة والمذاق والنكهة

نجمع فى هذا الفصل بين مناقشة حموضة الثمار (رقمها الأيدروجينى وحموضتها المعايرة) وصفة المذاق؛ نظرًا لما لصفة حموضة الثمار — مع صفة محتوى الثمار من السكريات — من أهمية بالغة فى تحديد جودة المذاق. ولا يخفى أن الأحماض العضوية — التى تحدد مستوى الحموضة المعايرة — تشكل جزءًا — ولو يسيرًا — من محتوى الثمار من المواد الصلبة الذائبة الكلية.

حموضة الثمار (الحموضة المعايرة والـ pH): أهميتها وطرق تقديرها ووراثتها

أهميتها

ترجع أهمية حموضة ثمار الطماطم إلى أنها تؤثر فى مذاق الطماطم؛ من حيث الإحساس بالحموضة sourness، ودرجة تركيز الطعم flavor intensity؛ كما أنها تفيد فى خفض فترة التعقيم، مع استمرار توخى الأمان ضد النموات الميكروبية. ويرجع إلى pH الثمار المنخفض (الأقل من ٤,٤) الفضل فى ضعف نشاط البكتيريا المحبة للحرارة *Bacillus coagulans*. وقد ثبت أن البكتيريا *Clostridum botulinum* المسببة للتسمم البوتشيلينى يمكنها النمو، وإنتاج السموم فى الأغذية التى يكون رقم حموضتها ٤,٨، أو أعلى، بما فى ذلك منتجات الطماطم.

هذا.. ويستدل من معظم الدراسات على وجود ارتباط جوهرى سالب بين الـ pH والحموضة المعايرة. وقد تراوحت نسبة تركيز أيون الأيدروجين (H^+) إلى الحموضة المعايرة من ٥٩– ٧٤ فى ٢٥ تركيبًا وراثيًا متباينًا فى هاتين الصفتين (عن Stevens ١٩٨٦).

وفى دراسة شملت ٢٥٠ صنفًا وسلالة من الطماطم تراوح pH الثمار فيها بين ٤,٢٦ ، و٤,٨٢ ، وتركيز حامض الستريك بين ٠,٤٠٪ ، و ٠,٩١٪ (عن Stevens & Rick ١٩٨٦).

الحموضة المعايرة

تقدر الحموضة المعايرة فى عصير الطماطم بحساب عدد ملليلترات أيدروكسيد الصوديوم العُشر أساسية (0.1 N)، اللازمة لمعادلة ١٠ مل من راشح العصير مع استعمال دليل الفينول فثالين phenolphthalin (Porter ١٩٦٠). وترجع الاختلافات بين أصناف الطماطم فى حموضتها المعايرة إلى اختلافها فى محتوى ثمارها من الأحماض العضوية.

يعتبر حامض الستريك citric acid من أهم الأحماض العضوية؛ حيث يشكل نحو ٤٠٪ – ٩٠٪ من المحتوى الكلى للعصير من الأحماض العضوية. وتتوقف نسبته الفعلية على الصنف، والظروف البيئية، ودرجة نضج الثمار، والمعاملات التالية للحصاد. ويليه فى الأهمية حامض الماليك malic acid، الذى يوجد بنسبة ٥٠٪ – ٦٠٪ من تركيز حامض الستريك حسب الصنف، بينما توجد بقية الأحماض العضوية بتركيزات منخفضة جدًّا؛ ومن أمثلتها حامض الجالاكترونك الذى يُنتج بسبب تحلل البكتينات، والذى يزداد تركيزه مع نضج الثمار، إلى أن يصل إلى أعلى مستوى له فى الثمار الزائدة النضج، وحامض بيروليدون – كاربوكسيلك pyrrolidone-carboxylic الموجود بتركيز منخفض للغاية، والذى ربما يكون إنتاجه من تحلل حامض الجلوتامنك glutaminc، أو حامض الجلوتامك glutamic. ويعد الأخير من أكثر الأحماض الأمينية تركيزًا فى ثمار الطماطم. وبالرغم من أن الطماطم تُعد من الخضر الغنية بحامض الأسكوربيك ascorbate (فيتامين ج) – حيث يوجد بتركيز يتراوح من ١٠ إلى ٣٥ ملليجرامًا/١٠٠ جم – إلا أن تأثيره فى الحموضة المعايرة ضعيف (عن Stevens & Long ١٩٧١).

هذا.. ويختلف مدى الحموضة المعايرة – كنسبة مئوية من حامض الستريك – فى ثمار الطماطم باختلاف الدراسات وباختلاف الجيرمبلازم المستخدم؛ فهو يتراوح فى

الطماطم من ٠,٢٥٪ إلى ٠,٥٠٪، ووصل فى بعض الدراسات إلى ٠,٩١٪، بينما يتراوح فى النوع *S. pimpinellifolium* من ٠,٤٧٪ إلى ٠,٩٥٪.

وقد أوضحت دراسات Lower & Thompson (١٩٦٧) أن صفة الحموضة المعايرة يتحكم فيها جين واحد سائد، إلا أن الانعزالات لم تظهر بوضوح؛ لأن الصفة كمية وتتأثر بالعوامل البيئية بدرجة كبيرة. وقد قدّر الباحثان كفاءة توريثها بنحو ٦٤,٢٪. وتوصل Stevens & Long (١٩٧١) إلى أن التركيز المنخفض لحامض الماليك صفة بسيطة سائدة. كما درس Stevens (١٩٧٢) وراثة تركيز الحامضين الرئيسيين المسئولين عن الحموضة فى ثمار الطماطم؛ وهما: حامض الستريك، وحامض الماليك، ووجد أن تركيز كليهما صفة بسيطة، وأن الجينين السائدين يتحكمان فى التركيز المرتفع لحامض الستريك والتركيز المنخفض لحامض الماليك، وأنهما يوجدان فى نظام ازدواجى coupling على مسافة ١٨ وحدة عبور بين كل منهما، وأنه لا توجد ضرورة للتربية لنسبة معينة من أحد الحامضين إلى الآخر.

الـ pH (الرقم الأيدروجينى)

يقدر pH الثمار بأخذ عينة تتراوح من ١٠ إلى ٢٠ ثمرة، تقطع كل منهما إلى أربعة أجزاء، ثم توضع فى خلاط على سرعة عالية لمدة دقيقتين، ثم يقدر الـ pH فى المخلوط بواسطة جهاز pH meter ذى تدريج دقيق مع استخدام منظم ذى pH قدره ٤,٨. وقد توصل Thompson (١٩٦٥) إلى طريقة أسهل من ذلك لتقدير الـpH فى الثمار المنتخبة، وذلك بقطع الثمار عرضيًا، ثم غمس العمود الزجاجى للجهاز dual glass electrode فى المساكن. يكفى ثلاث قراءات فى مساكن مختلفة لكل ثمرة، مع تقدير الـ pH لثلاث ثمار من كل نبات. ويشترط — لدقة النتائج — أن تكون الثمار على درجة واحدة من النضج.

ويبدو — من الدراسات الوراثية القليلة التى أجريت على صفة pH الثمار — أن كفاءة توريثها منخفضة؛ حيث قدرها Lower & Thompson (١٩٦٧) بنحو ٣٧,٦٪.

التربية لتحسين المذاق والنكهة

تتأثر نكهة الطماطم بمحتواها من المركبات المتطايرة volatile substances؛ أما المذاق.. فيتأثر أساسًا بنسبة السكريات إلى الأحماض، علمًا بأن النهكة يتم الإحساس بها عن طريق الأنف، أما المذاق .. فيكون الإحساس به عن طريق الفم.

المذاق (الطعم أو الحلاوة)

إن أفضل طعم للطماطم يكون فى الثمار التى لا تقل فيها نسبة السكريات إلى الأحماض عن ٨,٥ :١، بشرط ألا تقل نسبة السكريات عن ٣٪؛ ويعنى ذلك ألا تقل نسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية عن ٥,٥٪، وألا يزيد رقم الـ pH عن ٤,٣٥. ويقصد بنسبة الأحماض الحموضة المعايرة كنسبة مئوية من حامض الستريك، الذى يجب ألا يقل تركيزه عن ٠,٣٥ جم/١٠٠ جم من الوزن الطازج (عن Stevens ١٩٧٣).

يتبين مما تقدم أن الكميات المطلقة من السكريات والأحماض لا تقل أهمية عن النسبة بينهما فى تحديد طعم ثمار الطماطم.

تقاس الحلاوة فى ثمار الطماطم بتقدير أى من ثلاثة قياسات، هى المواد الصلبة الذائبة الكلية total soluble solids (اختصارًا: TSS)، ونسبة الـ TSS إلى الأحماض، ودليل الحلاوة الكلى total sweetnes index (اختصارًا: TSI).

تدل قراءة الرفراكتوميتر للـ TSS على النسبة المئوية للمواد الصلبة الذائبة فى العصير. وهى مجموع كل من السكريات (السكروز والسكريات السداسية والتى تشكل — معًا — ٦٥٪)، والأحماض (الستريك والماليك اللذان يشكلان ١٣٪)، ومكونات ضئيلة أخرى (الفينولات والأحماض الأمينية والبروتينات الذائبة وحامض الأسكوربيك والمعادن) فى لب الثمرة. وهذا التقدير غير دقيق إلا أنه شائع الاستخدام لأنه رخيص وسهل وسريع ويرتبط بما فيه الكفاية بمستوى السكر فى الثمرة. وقد لا يكون التقدير مُعَّبرًا عن حقيقة مستوى السكريات إذ استخدم فى مقارنة تراكيب وراثية يتراكم فيها مستويات منخفضة أو عالية

بصورة غير عادية من الأحماض. هذا.. وتعكس نسبة الـ TSS محتوى المادة الجافة، وهى تتناسب عكسيًّا مع حجم الثمرة، حيث إنها تتراوح بين ٣٪، و٥٪ فى الثمار الكبيرة الحجم، وبين ٥٪، و٧٪ فى الثمار المتوسطة الحجم، وبين ٩٪، و١٥٪ فى ثمار الشيرى الصغيرة الحجم.

ويستعمل دليل الحلاوة الكلى TSI كمقياس للحلاوة. ويُوصف إسهام كل سكر فى هذا الدليل نسبة إلى السكروز، الذى يعطى القيمة ١. ويُحسب (الـ TSI) بالمعادلة التالية:

$$TSI: [(1.00 \times sucrose) + (0.76 \times glucose) + (1.50 \times fructose)]$$

هذا.. وتكون الثمار التى تحتوى على قيم متماثلة للسكريات الكلية — ولكن بمحتوى أعلى نسبيًّا من الفراكتوز أو السكروز — أحلى طعمًا. ويختزن بثمار أصناف الطماطم المنتجة حديثًا كميات أقل من السكروز، بينما يتراكم فيها الجلوكوز والفراكتوز بنسبة ١ : ١ تقريبًا، ومن بين أهداف التربية الهامة زيادة نسبة الفراكتوز.

ونظرًا لأن الأحماض تؤثر على الإحساس بالحلاوة فإن نسبة الـ TSS إلى الحموضة المعايرة تُعد أحد الدلائل المفيدة لتقدير الحلاوة. وتحتوى الطماطم على حامضين رئيسيين، هما الستريك والماليك، علمًا بأن حامض الستريك تبلغ حموضته نصف حموضة حامض الماليك، كما أن مستويات حامض الستريك العالية تُعطى الجلوكوز دليلاً أعلى للحلاوة الظاهرية عن الفراكتوز. وتكون الطماطم جيدة الطعم عندما لا تقل الـ TSS عن ٥٪، ولا تقل الـ TA عن ٠,٤، حيث تكون نسبة الـ TSS إلى الحموضة المعايرة TA ١٢,٥. هذا.. وتتباين نسبة الـ TSS إلى الحموضة المعايرة بين أجزاء الثمرة الواحدة؛ حيث تنخفض فى المساكن مقارنة بالجدار الثمرى، وتتأثر بكل من: مرحلة النضج؛ حيث تنخفض الحموضة المعايرة فى المراحل المتأخرة من النضج، وظروف النمو التى تؤثر فى الأيض.

وتتعين ملاحظة أن قيم الـ TSS والـ TSS إلى الحموضة المعايرة TA ليست سوى دلائل تقريبية لطعم ثمار الطماطم لأسباب كثيرة، كما يلى:

١-قد لا تكون الـ TSS دليلاً دقيقًا على محتوى السكر أو الحلاوة كما أسلفنا.

٢-ربما تكون نسبة الـ TSI إلى الحموضة المعايرة TA دليلاً أفضل للطعم عن كل من الـ TSS، والـ TSS إلى الـ TA.

٣-على خلاف ثمار أخرى مثل التفاح والخوخ والنكتارين، فإن التوازن بين الحامض والحلو فى الطماطم قد لا ينعكس بصورة أساسية على الإحساس بالطعم.

٤-إن زيادة مستويات السكريات والأحماض عن حدود حرِجة دون أن يرافق ذلك بتغيرات فى المركبات المتطايرة قد لا يُحسِّن من الطعم (Beckles ٢٠١٢).

هذا.. ويتحسن مذاق ثمرة الطماطم كلما ازدادت نسبة أنسجة المساكن locular tissue إلى الجدر الثمرية اللحمية pericarp، بشرط ارتفاع نسبة كل من السكر والأحماض. ويرجع السبب فى ذلك إلى التأثير الكبير لنسبة المساكن إلى الجدر الثمرية على المتوسط العام لنسبة السكريات إلى الأحماض فى الثمرة.

ففى دراسة أجريت على سبعة أصناف من الطماطم — تراوحت فيها نسبة أنسجة المساكن من ١٤,٤٪ إلى ٣٥,٠٪ من وزن الثمرة — وجد لدى مقارنة السكريات والأحماض فى أنسجة المساكن بتركيزها فى الجدر الثمرية ما يلى (Stevens وآخرون ١٩٧٧):

١-كانت السكريات المختزلة أعلى بنسبة ٢٠٪ فى الجدر الثمرية منها فى المساكن.

٢-كان الجلوكوز أعلى بنسبة ٣٨٪ فى الجدر الثمرية منه فى المساكن.

٣-تساوى تركيز كل من الفراكتوز، والمواد الصلبة الذائبة الكلية فى كل من الجدر الثمرية والمساكن.

٤-كانت الحموضة المعايرة أعلى بنسبة ٤٨٪ فى المساكن عنها فى الجدر الثمرية.

٥- كان حامض الستريك أعلى بنسبة ٥٧٪ فى المساكن عنه فى الجدر الثمرية.

٦- تساوى كل من الـ pH، وتركيز حامض الماليك فى كل من الجدر الثمرية والمساكن.

ويعنى ذلك أن المذاق يكون أفضل فى الأصناف التى تحتوى ثمارها على نسبة عالية من المساكن، مع ارتفاع محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية، مثل أيس، وفى إف ١٤٥ — بى — ٧٨٧٩ عما فى الأصناف التى تحتوى ثمارها على نسبة منخفضة من المساكن، مثل يوسى ٨٢.

وقد أوضح Jones & Scott (١٩٨٣) أن سلالات الطماطم التى ترتفع فيها نسبتا السكر والحموضة كانت أفضل طعمًا من الصنف القياسى كال أيس Cal Ace. وقد أُرجعت معظم الاختلافات فى الطعم إلى الاختلافات فى نسبة المولد الصلبة الذائبة الكلية والحموضة المعايرة؛ وهو ما يعنى أن التربية لتحسين الطعم تعتمد على تحسين تلك الصفتين. هذا.. إلا أن زيادة نسبة السكر ترتبط — عادة — بنقص فى كل من المحصول وصلابة الثمار، فضلاً على أنها صفة كمية ليس من السهل إدخالها — بالتربية — فى سلالات الطماطم. وقد أوضحت دراسة أخرى لهذين الباحثين (Jones & Scott ١٩٨٤) ظهور قوة هجين فى صفة طعم الثمار، حيث كانت الهجن بين سلالات الطماطم العالية فى نسبتى السكر والأحماض أفضل طعمًا من الأبوين (ظهر فيها "طعم الطماطم" بصورة أكثر وضوحًا مما فى الآباء).

وقد اقترحت التربية لزيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة والحموضة العالية كوسيلة لتحسين الطعم، إلا أن التربية لزيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة ليست بالأمر السهل لأن تلك الصفة تورّث كميًا، وتوجد علاقة سالبة بين محتوى المواد الصلبة بالثمار والمحصول. ولقد أمكن تحديد ٣٢ QTLs ترتبط بزيادة نسبة المواد الصلبة الذائبة، وتبين أن إحداها تزيد الـ brix دون أن تنقص المحصول.

أما التربية لزيادة الحموضة فهى أقل صعوبة. وقد وجد أن الحموضة العالية سائدة على الحموضة المنخفضة ويتحكم فيها جين واحد كما أسلفنا، وإن كانت دراسات

أخرى أظهرت أنها صفة كمية ويتحكم فيها جين أساسى. كما وجد — كما أسلفنا — أن التركيز المنخفض لحامض الماليك سائد على التركيز العالى، مع تحكم جين واحد فى الصفة، وتبين وجود جينات مفردة — ترتبط فى نظام تنافرى — وتتحكم فى تركيز كل من حامضى الستريك والماليك. وعمومًا فإن هناك حدودًا لزيادة الحموضة بالنسبة لتحسين الطعم؛ فهى تؤدى حال زيادتها كثيرًا إلى حجب الحلاوة.

ولا تخفى أهمية العوامل البيئية وموسم النمو فى التأثير على طعم ثمار الطماطم؛ الأمر الذى يؤثر سلبيًا فى الانتخاب للصفة فى برامج التربية (Scott ٢٠٠٢).

ويتجه البعض نحو إعادة التوسع فى زراعة أصناف قديمة تتميز بطعمها الجيد، مثل الصنف Ramapo (على اسم قبيلة هنود حمر تستوطن نيوجيرسى) الذى أنتجته جامعة رتجرز فى عام ١٩٦٨ وتوقفت زراعته لأكثر من ٢٠ عامًا (Lorin ٢٠٠٨).

النكهة

تتحدد نكهة الطماطم بمحتواها من المركبات المتطايرة كما سبق بيانه. ولقد أمكن التعرف على أكثر من ٤٠٠ مركبًا متطايرًا فى عصير الطماطم، منها نسبة عالية من الألدهيدات، والكيتونات، والكحولات، وبعض الإسترات، إلاّ أن ١٦ مركبًا منها — فقط — كان لها أهمية فى التأثير على الطعم (Scott ٢٠٠٢).

كما وجدت اختلافات كمية بين أصناف وسلالات الطماطم فى محتواها من هذه المركبات، التى يقدر تركيز كل منها بالجزء فى البليون، والتى من أمثلتها ما يلى:

amyl alchol	n-pentanol
cis-3-hexenol	acetaldehyde
methyl sulfide	acetone
methanol	ethanol

isovaleraldhyde	n-hexanol
2-isobutylthiazole	methyl salicylate
eugenol	

وقد وجد Stevens (١٩٧٠) من دراسته الوراثية على المركبات الثلاثة الأخيرة ما يلى:

١- يتحكم فى تركيز مركب 2-isobutylthiazole جين واحد ذو تأثير إضافى.

٢- يتحكم فى تركيز مركبى methyl salicylate، و eugenol جينان (واحد لكل منهما) مرتبطان فى نظام ازدواجى coupling، مع سيادة التركيز المنخفض على التركيز المرتفع فى كل منهما.

وفى دراسة أخرى.. كان 2-isobutylthiazole أهم المركبات المتطايرة تأثيرًا على فرق النكهة بين صنفى الطماطم كامبل ١٤٦ Campbell 146، وكامبل ١٣٢٧.

كما وجد McGlasson وآخرون (١٩٨٧) ٦٩ مركبًا فى ثمار الصنف رتجرز Rutgers، كان لكل منها رائحة خاصة مميزة؛ وقد ربطوا النكهة المميزة للطماطم بستة من هذه المركبات، وهى:

hex-2-enal	linalool
phenylacetaldehyde	methyl salicylate
2-phenylethanol	eugenol

وبرغم وجود هذه الاختلافات الكمية بين أصناف وسلالات الطماطم فى محتواها من المركبات المتطايرة.. إلا انه لم تلاحظ فروق نوعية بينها. كما لم ترتبط أى منها بالنكهة المميزة للثمار، باستثناء حالات قليلة سبقت الإشارة إلى بعضها.

ويبدو — من دراسة العلاقات بين محتوى الثمار من الصبغات الكاروتينية ومحتواها من المركبات المتطايرة — أن المركبات المتطايرة الرئيسية تنتج من تحلل البولينات polyenes والكاروتينات؛ فقد وجدت هذه العلاقة فى الصنفين Caro-Red الغنى بالبيتاكاروتين، و Golden Jubilee الغنى بالزيتاكاروتين.

وقد أظهر أحد أصناف الطماطم ذات النكهة والطعم المميزين على تركيزات أعلى جوهريًّا من المركبين المتطايرين hexanal، و cis-3-hexenal، اللذان يعدان من أهم المركبات المتطايرة إسهامًا فى طعم الثمار. واعتمادًا على عينات من عدد قليل من الثمار من كل صنف — أو من كل نبات — يمكن التعرف على أى اختلافات جوهرية بينها فى محتواها من المواد المتطايرة؛ بما يسمح بالانتخاب لصفة الطعم والنكهة (Ruiz وآخرون ٢٠٠٥).

هذا.. ويهتم المربى بتحديد المركبات أو المواد التى يكون لها علاقة قوية بخصائص الطعم؛ ليمكن إجراء التحسين من خلالها. وفى الطماطم.. وجدت علاقة بين كل من محتوى حامض الستريك ورائحة الطماطم، ومحتوى الجليسين glycine ورائحة الطماطم كذلك، والتحبب granulosity ومحتوى المادة الجافة (Carli وآخرون ٢٠٠٩).

وقد أمكن تحديد مواقع ٣٠ QTLs تؤثر فى ابتعاث واحد أو أكثر من المركبات المتطايرة المسئولة عن نكهة الثمار فى سلالات من الطماطم نُقلت إليها جينات من *S. habrochaites* (Mathieu وآخرون ٢٠٠٩).

وأمكن زيادة محتوى ثمار الطماطم الناضجة من اثنان من المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة، هما: S-linalool، و 8-hydroxylinalool، وذلك بتحويلها وراثيًا بالجين Clarkia breweri S-linalool synthase. ولم يؤثر هذا التحويل الوراثى على أى من الصفات المورفولوجية أو على مستويات التربينويدات الأخرى، مثل: الألفا والجاما توكوفيرولات، والليكوبين، والبيتاكاروتين، والزانثوفيل (Lewinsohn وآخرون ٢٠٠١).

كما أمكن تحويل الطماطم وراثيًّا بجين من نبات الريحان، وهو جين يوجِّه جزيئات معينة فى مسار تمثيل الليكوبين نحو مسار يُنتج جزيئات خاصة بالنكهة. وقد كانت ثمار النباتات المحولة وراثيًّا أبهت لونًا، لكن نكهتها كانت قوية وطعمها مفضل وبها رائحة الورد، والجيرانيم، وحشيشة الليمون؛ الأمر الذى يفتح المجال واسعًا نحو إنتاج طماطم بالنكهات التى تُضاف إليها عند تجهيز الطعام (Davidovich-Rikanati وآخرون ٢٠٠٧).

الفصل الخامس

التربية لتحسين محتوى الثمار من المواد الصلبة غير الذائبة ولزوجة العصير والصلابة

نجمع في هذا الفصل بين مناقشة محتوى الثمار من المواد الصلبة غير الذائبة، وبين صلابة الثمار ولزوجة عصيرها؛ ذلك لأن المواد الصلبة غير الذائبة هي المحدد الرئيسي للزوجة العصير، وأحد العوامل الرئيسية المؤثرة في صلابة الثمار.

المواد الصلبة غير الذائبة

تتكون المواد الصلبة غير الذائبة في ثمار الطماطم — أساسًا— من الجلد، والبذور، والجدر الخلوية. وتعد الجدر الخلوية هي أهم مصادر المواد الصلبة غير الذائبة نظرًا لأن الجلد والبذور يستبعدان عند تصنيع منتجات الطماطم.

ويستخدم في تعريف المواد الصلبة غير الذائبة الاسمان: المواد الصلبة غير الذائبة في الماء water-insoluble solids، والمواد الصلبة غير الذائبة في الكحول alcohol-insoluble solids (يكون عادة كحول إيثيلي ٨٠٪) حسبما إذا كان الماء أو الكحول هو المستخدم في الاستخلاص، على التوالي.

وعادة .. يكون محتوى الثمار من المواد الصلبة غير الذائبة في الكحول أكبر من محتواها من المواد الصلبة غير الذائبة في الماء؛ لأن المواد الكربوهيدراتية الأقل تعقيدًا تكون أكثر ذوبانًا في الماء من الكحول. وتؤثر نسبة المواد الصلبة غير الذائبة على خاصيتين هامتين من خصائص الجودة في الطماطم؛ هما: لزوجة viscosity العصير، وصلابة الثمار fruit firmness.

وفى دراسة وراثية استخدم فيها صنف مرتفع (هو VF 109) وآخر منخفض (هو Campbell 146) فى نسبة المواد غير القابلة للذوبان فى الكحول.. وجد أن تلك الصفة يتحكم فيها زوجان من العوامل الوراثية، وأن كفاءة توريثها عالية؛ حيث قدرت بنحو ٨٤٪ فى المعنى العام، وبنحو ٦٢٪ فى المعنى الخاص (Janoria وآخرون ١٩٧٥).

لزوجة العصير

ترجع أهمية صفة لزوجة العصير العالية إلى أنها تفيد فى صناعة الكاتشب، والمعجون (الصلصة)؛ حيث تُزيد اللزوجة العالية كمية المُنتج المُصنَّع من وزن معين من الثمار، وعلى مقدار التركيز الذى يلزم الوصول إليه للحصول على الكثافة المرغوبة. ومن أهم مصادر صفة اللزوجة العالية بعض سلالات النوع *S. pimpinellifolium* (عن Robinson ١٩٧٤). وقد تبين — من دراسات Janoria & Rhodes (١٩٧٤) — ارتباط صفة لزوجة العصير بمحتوى أنسجة الثمرة من المواد غير الذائبة فى الكحول وكان الارتباط مرتفعًا حينما كان تقدير نسبة المواد غير الذائبة فى الكحول فى أى من الجدر الثمرية الخارجية أو الداخلية؛ حيث بلغ معامل الارتباط (r) ٠,٩٣، و ٠,٧٨ فى الحالتين، على التوالى؛ إلا أن معامل الارتباط انخفض إلى ٠,١٨ حينما كان تقدير المواد غير الذائبة فى الكحول فى المساكن. وفى جانب آخر.. أوضحت الدراسة عدم وجود أيةَ علاقة بين لزوجة العصير أو محتوى الثمار من المواد الصلبة غير الذائبة فى الكحول وبين أى من صفات حجم الثمرة، أو شكلها، أو صلابتها، أو محتواها من المواد الصلبة الذائبة الكلية، أو نسبة الأنسجة الخارجية أو الداخلية، أو نسبة المساكن بها.

وقد فَصَّلَ Stevens & Paulson (١٩٧٦) المواد غير الذائبة فى الكحول إلى خمسة مكونات، ووجد أن زيادة نسبة عديدات التسكر غير القابلة للذوبان فى الماء أحدثت أكبر زيادة فى لزوجة العصير؛ بينما كانت نسبة الـ polygalacturonides الذائبة فى الماء؛ ونسبتها غير الذائبة فى الماء وسطًا فى تأثيرهما.

وقد وجد أن الارتباط بين صفتى لزوجة العصير ومحتواه من المواد غير القابلة للذوبان فى الكحول كان عاليًا، سواء أكان هذا التقدير مظهريًّا، أم وراثيًّا. وقد قدرت قيمة الارتباط الوراثى (r_G) بنحو ٠,٨٩ كما تبين أن الكفاءة النسبية للانتخاب relative selection efficiency غير المباشر لصفة اللزوجة العالية — عن طريق الانتخاب للمحتوى المرتفع من المواد الصلبة غير القابلة للذوبان فى الكحول — كانت عالية؛ حيث قدرت بنحو ١١٤٪ مقارنة بالانتخاب المباشر لصفة اللزوجة (Janoria وآخرون ١٩٧٥). وفى دراسة أخرى (Stevens ١٩٧٦).. وجد أن صفة اللزوجة العالية يتحكم فيها ٣ أزواج من العوامل الوراثية على أكثر تقدير، وكانت كفاءة توريثها مرتفعة؛ حيث قدرت بنحو ٦٨٪ — ٧٥٪، وكان التأثير الإضافى هامًّا فى وراثة هذه الصفة. وتعتبر تلك النتائج متقاربة — إلى حد كبير — مع نتائج الدراسة السابقة.

صلابة الثمار

إن صلابة الثمار ترتبط — هى الأخرى — إيجابيًّا بمحتوى الثمار من المواد الصلبة غير الذائبة فى الكحول — خاصة البكتين والسيليلوز — وقد تبين من دراسات Al-Falluji وآخرين (١٩٨٢) أن الأنسجة اللحمية بالثمرة كانت أكثر أهمية من حيث التأثير فى صلابة الثمرة من أى من الصفات التالية: صلابة جلد الثمرة، وسمك الجدر الخارجية، وسمك الجدر الداخلية الفاصلة بين المساكن، ونسبة أنسجة جدر الثمرة، وعدد المساكن، وحجم الثمرة.

وتقدر درجة صلابة ثمار الطماطم بعدة طرق؛ منها ما يلى:

١– بالضغط على الثمار بين راحة اليد والأصابع.. تعطى هذه الطريقة نتائج سريعة يمكن الاعتماد عليها فى برامج التربية.

٢– بتخزين الثمار التامة النضج فى عبوات كبيرة لعدة أيام، مع وضع وزن ثابت على كل عبوة، ثم حصر عدد الثمار التالفة بعد ذلك.

٣-باستخدام الأجهزة التى تقيس الضغط اللازم لدفع قضيب معدنى ذى نهاية معلومة المساحة فى أنسجة الثمرة، وهى التى تعرف باسم plungers، أو pressure testers (عن Reynard ١٩٦٠). ويفضل عند اتباع هذه الطريقة إزالة جزء صغير من جلد الثمرة فى مكان بمنتصف الثمرة يكون بين الجدر الداخلية التى تفصل بين المساكن، ثم تقاس الصلابة فى هذه المنطقة باستخدام جهاز plunger مناسب.

تكاد تُجمع الدراسات الوراثية على أن صلابة ثمار الطماطم صفة كمية يتحكم فيها جينات ذات تأثير إضافى بصفة أساسية (عن Al-Falluji وآخرين ١٩٨٢). وقد قدرت كفاءة توريثها فى المعنى الخاص — فى إحدى الدراسات — بنحو ٩٠,٨٪ (وهو تقدير مرتفع للغاية بالنسبة لصفة كمية)؛ مما يدل على قلة تأثرها بالعوامل البيئية، مع سيادة التأثير المضيف للجينات المتحكمة فى الصفة على التأثيرات الأخرى.

وفى دراسة أخرى وجد أن صلابة الثمار صفة كمية يتحكم فيها تأثيرات مضيفة وسيادية، وكانت التأثيرات المضيفة هى الأكبر، وأظهرت قيم الصلابة العالية سيادة غير تامة؛ حيث كانت صلابة ثمار الهجن وسطًا بين الأبوين، لكن ظهرت السيادة الفائقة فى بعض التوافقات (Wang وآخرون ١٩٩٥).

ووجد فى جيرمبلازم حُصل عليه من تلقيح نوعى بين الطماطم والنوع البرى *S. galapagense*، ومن تلقيحات أخرى صنفية فى الطماطم أن كفاءة توريث الصلابة — معبرًا عنها بالقابلية للانضغاط compression، أو القابلية للاختراق puncture — كانت عالية نسبيًا (Stommel وآخرون ٢٠٠٥).

ومن أكبر مشاكل تربية الطماطم لزيادة صلابة الثمار ما يلى:

١- صعوبة الجمع بين الصلابة العالية والحموضة المناسبة؛ لأن الثمار الصلبة يقل فيها عدد المساكن، وتزيد بها نسبة الجدر الثمرية إلى المساكن، بينما تكون الحموضة أعلى فى المساكن مما فى الجدر الثمرية.

٢- صعوبة الجمع بين الصلابة والطعم الجيد الذى يعتمد على ارتفاع نسبة السكريات؛ لأن الصلابة تعتمد - كما أسلفنا - على زيادة محتوى الثمار من المواد غير الذائبة فى الكحول، وهى التى تكون على حساب السكريات؛ لأن قدرة النبات على تمثيل المواد الكربوهيدراتية محدودة.

الفصل السادس

التربية لتحسين اللون

يتداخل هذا الجانب من التربية مع هدف التربية لزيادة محتوى الثمار من فيتامين أ، نظرًا لأن لون الثمار يتحدد بمحتواها من الصبغات الكاروتينية التى منها صبغة البيتاكاروتين β-carotene التى يُصنَّع منها فيتامين أ فى جسم الإنسان، إلا أن اللون الأحمر المميز لثمار الطماطم يتحدد — أساسًا — بمحتواها من الصبغة الكاروتينية الليكوبين lycopene؛ ولذا.. فإن المناقشة حول الصبغات الكاروتينية — فى هذا الفصل — سوف تركز على علاقاتها باللون، وليس تبعًا لأهميتها الغذائية.

لقد دُرست مختلف الطفرات المؤثرة فى اللون فى الطماطم ومحتوى ثمار كل منها من مختلف الصبغات الكاروتينية. وقد وجدت ست طفرات مؤثرة فى اللون يتحكم فيها ستة جينات، منها اثنان سائدان؛ هما: دلتا Delta (الجين Del)، وبيتا العالية High Beta (الجين B الذى يتحور تأثيره بفعل الجين Beta modifier — أو Mo_B — ليصبح BMo_B)، وأربعة متنحية هى: الأصفر (الجين r)، والصبغة العالية high pigment (الجين hp)، والبرتقالى المحمر tangerine (الجين t)، والقرمزى (الجين og^c). وقد أضيف إليها بعد ذلك طفرات جديدة اكتشفت فى وقت لاحق؛ منها الجينان: الأخضر القاتم dark green (الجين dg)، ومُركِّز الصبغة pigment intensifier (الجين I_p)، وغيرهما.

ولقد أمكن التعرف على أكثر من ٢٠ جينًا تؤثر فى نوع الكاروتينويدات وكمياتها وتوزيعها فى ثمرة الطماطم. وجدت الكثير من تلك الطفرات طبيعيًّا فى الطماطم، وكذلك فى أنواع الطماطم البرية.

الطفرات اللونية (مرتبة أبجديًا) وخصائصها

الطفرات Aft، و atv، و Abg، و An1 وغيرها من الطفرات الأنثوسيانينية

يتحكم الجين السائد anthocyanin fruit (وهو: Aft) فى مستوى عالٍ من الأنثوسيانين فى جلد الثمرة والجدار الثمرى الخارجى، وتتكون الصبغات أساسًا من الـ petunidin، مع كميات أقل من كل من الـ malvidin، والـ delphinidin.

كذلك يتحكم الجين المتنحى atroviolacium (وهو: atv)، والجين السائد Aubergine (وهو: Abg) فى تراكم الأنثوسيانين فى نسيج بشرة الثمرة (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧).

تحتوى ثمار بعض الأنواع البرية على إنثوسيانينات، وقد نُقلت تلك الصفة إلى الطماطم المزروعة، وكما أسلفنا.. تُظهر الثمار التى تحمل الجينات Abg، و Aft، و atv درجات متباينة من إنتاج الأنثوسيانين فى خلايا البشرة، وليس باللُب الداخلى. وقد وُجد أن الجمع بين الجين atv مع أى من Aft أو Abg يزيد كثيرًا من إنتاج الأنثوسيانين بالثمار. وأمكن التعرف على أكثر من ٢٣ نوعًا من الأنثوسيانينات، كان من أبرزها الأنثوسيانين petubdin-3-(p-coumaryl)-rutinoside-5-glucoside. ولوحظ أعلى مستوى من الأنثوسيانين فى الثمار الصغيرة ذات التركيب الوراثى Abg-atvatv، و AftAft atvatv، حيث بلغ أكثر من ١٠٠ مجم/١٠٠ جم وزن طازج من البشرة وطبقة تحت البشرة حسب حجم الثمرة. وقد ازدادت — كذلك — الفلافونويدات غير الأنثوسيانينية مع الزيادة فى تركيز الأنثوسيانينات. وأدى انخفاض محتوى الكاروتينويدات بفعل الآليلين B (الجين Beta)، و r (الجين yellow flesh) إلى انخفاض مماثل فى محتوى الأنثوسينينات الكلى، على الرغم من استقلال مسارى تمثيل الكاروتينويدات والأنثوسيانينات (Mes وآخرون ٢٠٠٨).

وبينما يتميز التركيب الوراثى Anthocynanin fruit باللون القرمزى فى جلد الثمرة وجدارها الخارجى pericarp؛ بسبب محتواهما العالى من الأنثوسيانينات والفلافونات (وهى الصفة التى يتحكم فيها الجين السائد Aft)، فإن الطفرة high pigmet-1 تتميز بارتفاع محتواها من الفلافونات، وهى صفة يتحكم فيها الجين hp-1. وقد وجد أن الثمار الـ Aft تتميز بارتفاع محتواها – جوهريا من مستويات الفلافونات: quercetin، و kaempferol. ويقع الجين Aft على الكروموسوم ١٠ مُصاحِبًا كليًّا للجين Anthocyanin1 (يأخذ الرمز An1)، وهو الذى يُعد – من الناحية الجزيئية – وسطًا بين التركيب الوراثى Aft والطماطم العادية. وينتج التركيب الوراثى Aft/Aft hp-1/hp-1 مركبات الـ anthocyanidins والـ flavonols بدرجة أكبر مما يحدثه التأثير الإضافى للجينين؛ حيث تحدث زيادة قدرها حوالى ٥ أضعاف فى الـ petunidin، و ١٩ ضعف فى الـ malvidin، و ٣٣ ضعف فى الـ delphinidin فى هذا التركيب الوراثى مقارنة بالمستويات التراكمية فى سلالاته الأبوية (Sapir وآخرون ٢٠٠٨).

إن الأنثوسيانينات تُعد من مركبات الأيض الفلافونية التى تعطى ألوانًا جذابة، وتتميز بالنشاط المضاد للأكسدة عندما يتناولها الإنسان فى غذائه. هذه الصبغات لا توجد – طبيعيًّا – فى الطماطم المزروعة، ولكنها توجد فى ثمار بعض الأنواع البرية (مثل *S. chilense*)، ووجد أنه يتحكم فى إنتاجها الجينان ANT1، و ANT2، وهما اللذان نقلا بالفعل إلى الطماطم فى التركيب الوراثى Anthocyanin Fruit (اختصارًا: AFT)، حيث تتجمع الصبغات الأنثوسيانينية فى جلد ثمارها. وقد تبين أن الجين ANT1 – وحده – كافٍ لظهور الشكل المظهرى المميز (تراكم الأنثوسيانين فى AFT) (Schreiber وآخرون ٢٠١٢).

هذا.. ويُنتج صنف الطماطم Japanese Trifele ثمارًا ذات لون قرمزى داكن (شبه سوداء اللون)، وهى غنية فى طعمها. وقد كانت تربية هذا الصنف فى روسيا، وثماره بحجم كمثرى البارتلت، ومحصولها عالٍ، وغير محدودة النمو، ويبدأ

حصادها بعد ٧٠–٨٠ يومًا من زراعة البذور، وتتوفر بذورها في Seed Savers Exchange (Botts ٢٠٠٨).

الطفرة B

يحدد الجين B – في وجود جينين R وT – المحتوى النسبي للصبغتين الرئيسيتين (Lincoln & Porter ١٩٥٠)؛ حيث يزيد محتوى البيتاكاروتين على حساب، مستوى الليكوبين. حُصل على هذا الجين من النوع البرى *S. habrochaites* برغم عدم ظهور تأثيره في هذا النوع الذى تكون ثماره خضراء اللون عند النضج (عن Rick ١٩٨٢). يتأثر فعل هذا الجين بالجين المُحَوِّر.. يكون ٩٠٪ من الصبغات الكاروتينية الكلية على صورة بيتاكاروتين؛ مما يجعل لون الثمار برتقاليًا. أما عند وجود آليله الطبيعى +MoB – مع الجين B– فإن البيتاكاروتين يمثل أكثر من ٥٠٪ من الصبغات الكاروتينية، بينما يمثل الليكوبين أقل من ٥٠٪ منها. أما في الحالات الطبيعية (bb).. فإن صبغة البيتاكاروتين لا تشكل سوى ١٠٪ من الكاروتينات الكلية (Stevens & Rick ١٩٨٦).

وقد أمكن التعرف على الجين Beta (الذى يأخذ الرمز B) — الذى يوجد على الكروموسوم رقم ٦ — لأول مرة — في انعزال فائق الحدود ذو ثمار برتقالية اللون لتهجين بين الطماطه *S. lycopersicum* والنوع البرى *S. habrochaites* ذات الثمار الخضراء اللون. وأوضحت الدراسات الوراثية أن التركيز العالى للبيتاكاروتين يتحكم فيه جين واحد (B) ذو سيادة غير تامة. وفى دراسة لاحقة تبين أن B جين سائد، ولكنه يتأثر بجين آخر مُحوِّر — هو: mo-B – ينعزل مُستقلاً. ويؤدى التعبير عن الجين المحور السائد mo-B إلى خفض نسبة البيتاكاروتين إلى الليكوبين؛ مما يؤدى إلى إنتاج ثمار حمراء برتقالية اللون. وباستعمال واسمات جزيئية ترتبط بالجينين B ، و mo-B حُسم أمر سيادتهما التامة وتبين ارتباطهما على الكروموسوم ٦ وعدم انعزالهما مستقلين. يُشفر الجين B لإنتاج الإنزيم β-cyclase الذى يحول الليكوبين إلى بيتاكاروتين.

وأمكن – كذلك – نقل نفس الجين (B) من سلالات من كل من *S. galapagense*، و *S. pimpinellifolium*، و *S. chilense*، و *S. chmielewskii* (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧). هذا إلاّ إنه وجدت تباينات بين كل من *S. habrochaites*، و *S cheesmaniae* في محتوى كل من الليكوبين والبيتاكاروتين في الأجيال الإنعزالية؛ بما يعني اختلاف وراثة كل منهما (Stommel & Haynes ١٩٩٤).

وبكسر الارتباط بين الجين B والجين sp (الذى يتحكم في النمو غير المحدود) أمكن الاستفادة من الجين B في الأصناف ذات النمو المحدود (Labate وآخرين ٢٠٠٧).

الطفرة c

على خلاف الجين B فإن الطفرة المتنحية crimson (أو c) تعمل على زيادة محتوى الليكوبين بالثمار (٥٠٨٦ – ٥٧٨٦ ميكروجرام/١٠٠ جم وزن طازج) عما تحتويه ثمار الأصناف غير الحاملة لهذا الجين (٢٦٢٢–٤٣١٨ ميكروجرام/١٠٠ جم وزن طازج). وذلك على حساب البيتاكاروتين. ولقد ثبت أن الـ crimson آليل للجين B. وتتميز الثمار الـ crimson بلونها الأحمر القانى (Lincoln & Porter ١٩٥٠، و Thompson وآخرون ٢٠٠٠).

الطفرة Cnr

يؤدى تواجد الجين Cnr (الخاص بالطفرة colorless, non-ripening) إلى خفض كبير في مستوى الكاروتينويدات الكلية وإلى عدم وجود أى مستويات يمكن تقديرها من الفيتوين والليكوبين؛ بما يعنى أنه يُوقف أول خطوة في مسار تمثيل الكاروتينويدات، وهى التى ينظمها الإنزيم phytoene synthase (Fraser وآخرون ٢٠٠١).

الطفرة Del

تُنتج الطفرة Del (الـ Delta) كميات كبيرة من الدلتاكاروتين، وهو كاروتين لا يوجد في أى طفرة لونية أخرى أو في الثمار الطبيعية، ويكون إنتاجه على حساب

إنتاج الليكوبين (Stevens & Rick ١٩٨٦)؛ مما يكسب الثمار لون برتقالى ضارب إلى الحمرة (Lincoln & Porter ١٩٥٠).

الطفرة dg

ووجدت طفرة الثمار الخضراء القاتمة dark green، التى يتحكم فيها الجين dg فى الصنف مانابال Manapal. وتختلف هذه الطفرة عن النباتات الطبيعية فى أن ثمارها غير الناضجة تكون أكثر اخضرارًا حتى بداية التلوين، ثم تكون ثمارها الناضجة أكثر احمرارًا – داخليًا وخارجيًا – عند اكتمال نضجها. وقد تبين أن ثمار هذه الطفرة يزيد محتواها من الكلوروفيل على محتوى كل من الثمار الطبيعية والطفرة hp.

وجدير بالذكر أن اللون الأخضر القاتم الذى يحدثه الجين dg يكون متجانسًا فى كل الثمرة، وليس عند أكتافها فقط مثلما تكون عليه الحال فى التركيب الوراثى UU. أما ثمار التركيب الوراثى uu (uniform green) فإنها تكون خضراء متجانسة أيضًا، ولكن بلون أخضر فاتح. وتجدر الإشارة – كذلك – إلى أن اللون الأحمر القانى الذى تظهر به الثمار dg dg يكون مماثلاً للون الثمار hp hp ، ولكن ثمار الأولى يكون محتواها من كل من حامض الأسكوربيك والبيتاكاروتين أعلى من محتوى ثمار الثانية.

وقد قام Wann وآخرون (١٩٨٥) بمقارنة سلالات ذات أصول وراثية متشابهة isogenic lines، تختلف فيما تحمله من ثلاثة جينات هى hp، و dg، و og^c. ووجد أن ثمار dg الناضجة يزيد محتواها من الليكوبين بمقدار يصل إلى ١٠٠٪ عن الثمار الطبيعية. وزاد متوسط محتوى ثمار dg من البيتاكاروتين بمقدار ٥٠٪ عن ثمار hp، وبمقدار ٢٥٠٪ عن الثمار الطبيعية. كما كانت الثمار الـ dg أصلب – جوهريًا – من الثمار الطبيعية فى كل من طورى النضج الأخضر والأحمر. هذا.. بينما لم تظهر أية فروق فى الطعم بين مختلف السلالات.

كما تبين من دراسة أخرى – قورن فيها تأثير الجينين hp، و dg فى سلالات ذات أصول وراثية متشابهة (Jarret وآخرون ١٩٨٤) – أن كلا الجينين أحدث زيادة

فى محتوى الثمار من كل من حامض الأسكوربيك والكلوروفيل. وكانت الزيادة فى الكلوروفيل فى الجدر الثمرية الخارجية ١٦٦٪ فى السلالة hp، و ٣٢٠٪ فى السلالة dg مقارنة بالتركيب الوراثى الطبيعى. وكانت ثمار كلتا الطفرتين أصغر حجمًا وأكثر استطالة من ثمار السلالة الطبيعية، ولكنهما لم تختلفا عن الطبيعية فى النضج. وأحدثت الطفرتان تأخيرًا فى كل من النمو الخضرى والثمرى، وأنقصتا — جوهريًّا — المساحة الورقية الكلية، وطول السلاميات، والوزن الكلى الطازج والجاف للنبات؛ وكان تأثير الجين dg – دائمًا — أكبر — كميًّا — من تأثير الجين hp.

وفى محاولة لتفهم الأساس الفسيولوجى لزيادة صلابة ثمار الـ dg عن الثمار الطبيعية.. لم يستدل Tong & Gross (١٩٨٩) على أية فروق بينهما فى نشاط إنزيم البولى جالاكتيورونيز polygalacturonase، أو تركيب الجدر الخلوية خلال مراحل نضج الثمرة؛ مما يدل على وجود عوامل أخرى تؤثر فى ذوبان المركبات اليورونيدية uronides فى الجدر الخلوية.

الطفرتان gf، و Gr

تتطور الكلوروبلاستيدات إلى كروموبلاستيدات أثناء نضج ثمار الطماطم، ويتواكب هذا التحول مع تراكم الكاروتينويدات واختفاء الكلوروفيل، وتحلل نظام أغشية الثيلاكويدات thylakoids الدقيق التركيب، وانخفاض فى مستويات البروتينات والرنا الرسول mRNA المرتبطة بعملية البناء الضوئى. هذا.. إلا إنه فى طفرة الطماطم gf (أو اللُب الأخضر green flesh) تتبقى كميات محسوسة من الكلوروفيل أ، وب فى الثمار الناضجة؛ مما يُكسب الثمار لونًا أحمر صدئ أو بنى ضارب إلى الاحمرار، وبما يفيد أن تحلل الكلوروفيل لا يكون تامًّا فى الطفرة. كذلك يحتفظ التركيب الدقيق للطفرة بجزء كبير من جرانا ثيلاكويدات الكلوروبلاستيدات، فى الوقت الذى تتكون فيه التراكيب المميزة للكلوروبلاستيدات. ويترتب على الاحتفاظ بتركيب الكلوروبلاستيدات فى ثمار

الطفرة استمرار المكونات المسئولة عن البناء الضوئى بمختلف مراحله، وهى التى تنهار – عادة – فى الثمار غير الطفرية (Cheung وآخرون ١٩٩٣). كذلك تتميز أوراق النباتات الحاملة للطفرة بلونها الأخضر خلال مراحل شيخوختها (Akhtar وآخرون ١٩٩٩).

أما الطفرة Gr (أو green ripe) فإنها تجعل لب الثمار الناضجة بلون أخضر (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧).

طفرات الـ hp (hp1 ، و hp2، و hp3)

تحتوى ثمار الطفرة "الصبغة العالية" high pigment (التى يتحكم فيها الجين hp) على تركيز عالٍ من الصبغات الكاروتينية الكلية، دون أن تؤثر فى نسبة كل منها إلى الأخرى. ويعنى ذلك أن هذه الطفرة يزيد فيها محتوى الثمار من كل من صبغتى الليكوبين المسئولة عن اللون، والبيتاكاروتين التى يصنع منها فيتامين أ فى جسم الإنسان، ولهذا الجين تأثيرات متعددة فى النبات، بعضها مفيد وبعضها ضار.

ومن أهم التأثيرات المفيدة للجين hp ما يلى:

١- يجعل الثمار ذات لون أحمر براق من الخارج، ولكنه لا يؤثر فى لون المساكن.

٢- يزيد من محتوى الثمار من البيتاكاروتين بنحو ٢٥٪ – ٥٠٪، ومن حامض الأسكوربيك بنحو ٢٠٪.

٣- يزيد من التمثيل الضوئى فى وحدة المساحة من الورقة، ويزيد من محتوى الأوراق والثمار من صبغة الكلوروفيل.

٤- يزيد من صلابة الثمار، ويزيد من لزوجة العصير.

أما التأثيرات الضارة للجين hp .. فهى كما يلى:

١- يبطئ من إنبات البذور، ونمو البادرات، ويؤخر النضج.

٢- يجعل السيقان سهلة الكسر brittle.

٣- يزيد من حساسية النموات الخضرية للأضرار التى تحدثها أشعة الشمس القوية. ويسرع من اصفرارها.

٤- يحدث تغيرات غير مرغوبة فى نكهة الثمار من خلال تأثيره فى محتواها من المواد المتطايرة volatile substances.

٥- يخفض عدد البذور فى الثمار.

٦- يخفض من الحموضة المعايرة ونسبة المواد الذائبة الكلية بالثمار.

٧- يقلل من المحصول المبكر والمحصول الكلى (عن Jarret وآخرين ١٩٨٤).

ويمكن التعرف على البادرات الحاملة لهذا الجين بسهولة — وهى ما زالت فى طور البادرة — نظرًا لأنها تكتسب لونًا أرجوانيًا قاتمًا خلال فترة قصيرة من تعرض البادرات لدرجات حرارة منخفضة. ويؤدى وجود الجينين hp، و og^c — معًا — كما فى الصنف أُتوَا ٦٧ Ottwa 67 إلى تحسين لون الثمار — خارجيًا وداخليًا — مع زيادة محتواها من البيتاكاروتين بنسبة ٢٥٪ (عن Stevens ١٩٧٩).

ويبدو أن العلاقة بين محتوى الكلوروفيل فى الثمار غير الناضجة ومحتوى المواد الكاروتينية فى الثمار الناضجة مردها إلى تحول البلاستيدات الخضراء أثناء النضج إلى بلاستيدات ملونة، وهو ما قد يفسر كيف أن الطفرتين hp، و dg ذواتى الثمار الخضراء القاتمة ينتهى بهما الأمر إلى محتويات ثمرية مرتفعة من البيتاكاروتين. كما يُعتقد أن الأصناف التى تحمل جين النضج المتجانس (u) بحالة أصيلة يكون محتوى ثمارها من الليكوبين أقل من ثمار الأصناف التى تحمل آليل النضج غير المتجانس (u^+)، والتى تكون أكتافها خضراء اللون.

يمكن التعرف بسهولة على الجينات hp، وdg، و og^c فى برامج التربية؛ فالجين hp يزيد من مستوى الأنثوسيانين فى السويقة الجنينية السفلى للبادرات، التى تكتسب

لونًا أرجوانيًا قاتمًا لدى تعرضها لفترات قصيرة من الحرارة المنخفضة؛ وبذا يسهل التعرف عليها فى طور البادرة. وتؤدى تربية البادرات الصغيرة تحت غطاء بلاستيكى من الفينيل الأصفر yellow vinyl film إلى سهولة التمييز بين النباتات الطبيعية، والسلالات الأصيلة فى كل من الجينين hp، و dg؛ إذ تستطيل السويقة الجينينة السفلى فى النباتات الطبيعية، بينما تبقى عادية الطول فى كل من الطفرتين hp، و dg. هذا بينما تكتسب بتلات أزهار الطفرة og^c لونًا برتقاليًا واضحًا لدى تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة، وهو ما يميزها بسهولة عن غيرها. وعند التربية لكلٍ من الطفرتين hp، و og^c معًا يمكن تعريض النباتات لحرارة منخفضة فى طورى البادرة وبداية الإزهار؛ وبذا يسهل التعرف على النباتات الحاملة لكل من الطفرتين على التوالى (Stevens & Rick ١٩٨٦).

ومن الأصناف التجارية الغنية بصبغة الليكوبين الصنف Suncoast (Scott ٢٠٠٧).

هذا.. وتقع الطفرة hp (أو الـ high-pigment) على الكروموسوم ٢ (Yen وآخرون ١٩٩٧).

ويميز Lincoln & Porter (١٩٥٠) بين جينين للـ high pigment، وهما: hp-1، و hp-2، وأنهما يؤديا إلى زيادة محتوى الثمار الكلى من الكاروتينويدات بمقدار ٣٠٪ – ٥٠٪، دون التأثير على المحتوى النسبى لمختلف الكاروتينويدات. كذلك يربط Lincoln & Porter (١٩٥٠) بين هاتين الطفرتين وطفرات حساسة للضوء؛ فيذكر أن الطفرة الفائقة الحساسية للضوء dark green (وهى: dg) آليلية للجين hp-2، وأن الطفرتين w ، و j آليليتان للآليلين hp-1، و hp-2، على التوالى، وهما – كذلك – حسّاستان للضوء. وتُنتج النباتات التى تحمل الطفرة crimson وآليلات الـ high pigment ثمارًا يزيد فيها محتوى الليكوبين بمقدار ٣–٤ أضعاف محتواه فى ثمار الأصناف الحمراء العادية.

وقد دُرس تأثير جينات الـ high pigments (الصبغات العالية): hp، و dg، وhp1، وhp2 على محتوى ثمار الطماطم من حامض الأسكوربيك، والكاروتينات،والعلاقة بين تلك الجينات والصفات ذات الصلة بالنمو ومحصول الثمار وجودتها. أدى وجود جينات الصبغة العالية إلى تقليل نسبة المحصول المبكر والمحصول الكلى بسبب تثبيطها للنمو فى ظروف الحرارة المنخفضة وبطء اكتمال تكوين الثمار. وأدت تلك الجينات — فى المقابل — إلى زيادة محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك والكاروتينات، ولكنها أنقصت محتواها من الأحماض العضوية ومن نسبة حامض الستريك إلى الماليك فيها. ويُستدل من التباينات الوراثية إمكان إجراء تحسينات فى كل من الصفات غير المرغوب فيها التى تبدو مرتبطة بجينات الـ hp، وكذلك فى التأثيرات المتعددة لتلك الجينات. وقد أمكن التوصل إلى طريقة سريعة لانتخاب النباتات التى تحمل جينات الـ hp بالعشائر الانعزالية فى مرحلة نمو البادرة بتغطية البادرات بغشاء أصفر؛ حيث لم تحدث سوى استطالة قليلة فى التراكيب الوراثية الأصيلة فى هذا الجين (Mochizuki وآخرون ١٩٩٥).

تؤدى الطفرة hp3 (وهى: high pigment 3) إلى زيادة تراكم الكاروتينات (الليكوبين) فى الثمار الناضجة بنسبة ٣٠٪، كما يزداد — كذلك — تركيز الكاروتينويدات والكلوروفيل فى الأوراق وفى الجدار الثمرى الخارجى للثمار الخضراء. ويقل فى أوراق الطفرة وأزهارها الزانثوفيلات: violaxanin والـ neoxanthin؛ نظرًا لأن الطفرة لا تُنتج الإنزيم zeananthin epoxidase الذى يحول الـ zeaxanthin إلى violaxanthin.

ونظرًا لأن حامض الأبسيسك يُشتق من الزانثوفيلات، فإن تركيزه ينخفض فى أوراق الطفرة بمقدار ٧٥٪ عن التركيز الطبيعى؛ مما يجعل طفرة hp3 بمثابة ABA-deficient. ويقود نقص حامض الأبسيسك إلى تضخم حجيرات البلاستيدات؛ بما يسمح بزيادة التمثيل البيولوجى، وزيادة القدرة على تخزين الصبغات (Galpaz وآخرون ٢٠٠٨).

الطفرة Ip

للطفرة Ip (مكثف الصبغة pigment intensifier) تأثيرات مماثلة لتأثيرات طفرات الـ high pigments، وتتميز ثمارها — كذلك — بأنها تكون خضراء داكنة اللون قبل اكتمال تكوينها، وبأن بها صبغات كاروتينويدية كثيفة فى الثمار الناضجة. ويبدو أن لهذا الجين تأثيرات سلبية على إنبات البذور ونمو النباتات.

الطفرة og^c

الجين og^c هو المسئول عن اللون القرمزى crimson — وكان قد اكتُشف فى سلالة طماطم من الفلبين (Thompson وآخرون ١٩٦٧)، وهو يؤثر عند وجوده فى صورة متنحية أصيلة على المحتوى النسبى للصبغتين الرئيسيتين؛ حيث يزيد تركيز الليكوبين على حساب البيتاكاروتين، وتظهر مساكن الثمار — نتيجة لذلك — بلون أحمر قانٍ. أدخل Lee & Robinson (١٩٨٠) هذا الجين فى الصنف نيويوركر New Yorker؛ وبمقارنة السلالة الجديدة بالصنف الأصلى.. وجد أنها كانت أفضل منه لونًا، وأقل منه محتوى من فيتامين أ بنسبة ٦٠٪؛ بسبب نقص محتواها من البيتاكاروتين والجاماكاروتين، إلا أنهما تشابها فى كل الصفات الأخرى.

وبينما يزيد الجين hp محتوى فيتامين أ بنسبة ٢٥٪ — ٥٠٪، فإن الجين og^c يخفضه بنسبة ٢٥٪. وبذا.. فإن الجمع بين الجينين يزيد فيتامين أ بنسبة ٢٥٪ (عن Kalloo ١٩٩٣).

الطفرة r وطفرات اللون الأصفر الأخرى

يبدو أن الجين R يلعب دورًا مبكرًا فى إنتاج الصبغات؛ عن طريق إنتاجه لمادة أولية precourser ضرورية لتكوين الصبغات.

تُعطى الطفرة r ثمارًا ذات لُب أصفر ولا تحتوى تقريبًا على أى بوليينات polyenes أو كاروتينات ملونة فيما عدا آثار من البيتاكاروتين، وهو الذى يرتبط — غالبًا — بكلوروفيل

الثمار الخضراء. يُعطِّل هذا الجين مسار تمثيل الكاروتينويدات كليًّا (Stevens & Rick ١٩٦٨)، وهو يقع على الكروموسوم ٣ (Lincoln & Porter ١٩٥٠).

ومن التباينات الأخرى للطفرة r الصفراء .. يذكر Lincoln & Porter (١٩٥٠) كلاً من: ry وهى آليل للجين r، وتنتج لونًا أحمر فى الثمار الصفراء، والطفرة apricot (وهى: at) التى تُحمل على الكروموسوم ٥، والطفرة sherry (وهى: sh) التى تُحمل على الكروموسوم ١٠، واللذان ينتجان ثمارًا صفراء ولكن بمسحة وردية أو حمراء عند النضج. أما الطفرة ghost (وهى: gh) التى تُحمل على الكروموسوم ١١ فإن ثمارها لا تحتوى إلاّ على الـ phytoene ولا توجد بها أى كاروتينويدات ملونة. وبينما يعطى الآليل المتنحى y بشرة عديمة اللون، فإن الجمع بين y، و r ينتج ثمارًا صفراء شاحبة أو بيضاء. ويؤدى وجود y فى التراكيب الوراثية الحمراء إلى إنتاج ثمار وردية اللون. كذلك تعرف طفرتان للـ plytoene synthase هما: Psy1، و Psy2 اللذان يظهر تأثيرهما فى الثمار الناضجة.

الطفرة t

تُحدث الطفرة t (الـ tangerine) زيادة كبيرة فى كمية الزيتاكاروتين والبولينيات المنتجة بالثمار (البروليكوبين)، وهى تتحكم فى لون الثمار البرتقالى (Stevens & Rick ١٩٨٦)

أما الآليل T فإنه يوجه تكوين الصبغات نحو النظام الطبيعى.

الطفرة u

من المعروف أن الجين u (الطفرة uniform ripening) تحتوى ثمارها الناضجة على مستويات منخفضة من الليكوبين، مقارنة بتلك التى تحمل الجين u^+ (الخاص بصفة الـ non-uniform ripening)، والتى تكون أكتاف ثمارها الخضراء أكثر اخضرارًا.

المحتوى النسبى لمختلف الصبغات الكاروتينية فى مختلف الطفرات وانعزالاتها

درس Barker (١٩٧٥) لون الثمار ومحتواها من المواد الكاروتينية عند تباين التركيب الوراثى بالنسبة لثلاثة من الجينات المؤثرة فى اللون، هى: r، وt، و B؛ فوجدها على النحو التالى:

١- التركيب الوراثى RRTTbb

يمثل هذا التركيب الوراثى الصنف رتجرز Rutgers. الثمار حمراء اللون. يبلغ محتواها الكلى من المواد الكاروتينية ٨٨ ميكروجرامًا/جم وزن طازج. وتشكل صبغتا الليكوبين والبيتاكاروتين ٩٧٪، و ٣,٢٪ منها على التوالى، ولكن النسبة بين الصبغتين تتراوح من ١٢ : ١ إلى ١٨ : ١ حسب الصنف.

٢- التركيب الوراثى RRttbb

يعرف اللون الذى يعطيه هذا التركيب الوراثى باسم Jubilee Orange. الثمار باهتة بلون برتقالى "جوبولى". يبلغ المحتوى الكلى للمواد الكاروتينية ١٠٠ ميكروجرام/ جم وزن طازج، تكون معظمها على صورة زيتاكاروتين، وفيتوين phytoene، بينما لا توجد سوى آثار من صبغتى الليكوبين والبيتاكاروتين.

٣- التركيب الوراثى RRTTBB

الثمار برتقالية اللون: يبلغ المحتوى الكلى للمواد الكاروتينية فيها ٨٤ ميكروجرامًا/ جم وزن طازج، وتشكل صبغتا الليكوبين والبيتاكاروتين ٧٪، و ٩٣٪ على التوالى. الثمار برتقالية اللون.

٤- التركيب الوراثى rr TTbb

الثمار صفراء اللون. يبلغ المحتوى الكلى للمواد الكاروتينية فيها ميكروجرامين/ جم وزن طازج، وتشكل صبغتا الليكوبين والبيتاكاروتين ٣٩٪، و ٦١٪ منها، على التوالى.

وأُجرى تهجين بين سلالتى الطماطم TOM-498، و TOM-499 الأصيلتين فى الجين B الذى يتحكم فى صفة المحتوى العالى من البيتاكاروتين وبين عدد من الأصناف والسلالات الأخرى تحمل الجينات og^c، و hp، أو t. وقد وجد أن الهجن الخليطة فى الجين B (أى ذات التركيب الوراثى B+/B) كانت برتقالية اللون حتى فى وجود أى من جينى تحفيز تمثيل الليكوبين: og^c أو hp بحالة خليطة. وكانت الهجن الخليطة فى الجين B فى غياب أى من الجينات t أو og^c أو hp بنفس لون التراكيب الوراثية الأصيلة فى الجين B. وكان تأثير الجين og^c على اللون قاصرًا على المشيمة وجدر قلب الثمرة دون البشرة أو الجدار الثمرى الخارجى (Andrade وآخرون ٢٠١٥).

ويبين جدول (٦-١) محتوى ثمار الطماطم ذات الطفرات اللونية المختلفة من مختلف الصبغات الكاروتينية.

كما يبين جدول (٦-٢) الطفرات اللونية التى تتحكم فى محتوى الكاروتنيويدات والأنثوسيانين بثمار الطماطم.

جدول (٦-١): محتوى ثمار الطماطم ذات التراكيب الوراثية المختلفة من مختلف الكاروتينات (ميكروجرام/جم) (عن Stevens & Rick ١٩٨٦).

الصنف (التركيب الوراثى)	فيتوين Phytoene	فيتوفلوين Phytofluene	زيتا كاروتين	ليكوبين	جاما كاروتين	دلتا كاروتين	بيتا كاروتين	ألفا كاروتين
Rutger (أحمر عادى)	٢٩	٨	–	٤٤	١	–	٥	–
(r) Ace Yellow	١٠	آثار	–	–	–	–	آثار	–
(hp) High pigment	١٥	٨	–	٥٦	٢	–	٧	–
(t) Tangeine	٥١	١٧	٤٥	–	–	–	١	–
(Del) Delta	١٣	٤	١	١٧	٦	٣٣	٦	٢
(og^c) Crimson	٢٥	٩	–	٥٠	١	–	٣	–
(BMo_B) High Beta	١٠	٢	–	آثار	٣	–	٦٦	–
Intermediate Beta (BMo_B^+)	٣	١	–	١٦	٣	–	٢٧	–

جدول (٦-٢): الطفرات اللونية التي تتحكم في محتوى الكاروتينويدات والأنثوسيانين بثمار الطماطم (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧).

الطفرة	الكروموسوم والذراع (القصير S أو الطويل L)	المرادفات	لون الثمرة
- الكاروتينويدات			
Apricot (at)	5	-	لب الثمرة أصفر مشوب بالوردى
Beta-carotene (B)	6 L	-	لب الثمرة برتقالى — يزيد فيها إنتاج البيتا كاروتين وينخفض إنتاج الليكوبين — تُشفر لإنتاج إنزيم lycopene β-cyclase في البلاستيدات الملونة
		Crimson (c) og^c, Cm, Cr, cm-2, cr-2	يزداد اللون الأحمر — يزداد الليكوبين ويقل البيتاكاروتين — يتشابه الشكل المظهرى مع B^{og}
		minutum (m)	يزيد إنتاج البيتاكاروتين وينخفض الليكوبين في الثمار الناضجة
		Old gold (og)	البتلات بلون برتقالى مشوب بصفرة وإسمرار — يزيد إنتاج الليكوبين
Delta (Del)	12 S	-	اللب برتقالى محمر — يزيد إنتاج الألفا كاروتين والدلتا كاروتين— يُشفر لإنتاج الإنزيم Lycopene epsilon-cyclase
Diospyros (dps)	-	-	لب الثمرة برتقالى مُعتم
Green flesh (gf)	8 L		يستمر تواجد الكلوروفيل في الثمرة الناضجة — يُنتج الليكوبين بصورة طبيعية — يكون لون الثمرة بنى ضارب للحمرة
Ghost (gh)	11 S	ab	يُنتج الـ phytoene بصورة طبيعية — لا توجد كاروتينويدات ملونة — يشفر لإنتاج إنزيم terminal oxydase البلاستيدى

يتبع

تابع جدول (٦-٢).

الطفرة	الكروموسوم والذراع (القصير S أو الطويل L)	المرادفات	لون الثمرة
Green ripe (Gr)	1 L	gr	يُماثل gf باستثناء أن مركز لب الثمرة يتحول إلى الأحمر
High pigment-1 (hp-1)	2 L	hp, hp1, hp2, bs, dr	الثمار الناضجة خضراء داكنة اللون — يزيد الكاروتينويدات وحامض الأسكوربيك فى الثمار الناضجة — يشفر لإنتاج الـ uv-damaged DNA- DNAbinding protein
		WB3 (w)	يُماثل hp-1 لكن الشكل المظهرى أكثر حدة
High pigment-2 (hp-2)	1 S	hp	يماثل hp يُنتج deetiolated 1protein
	-	dark green (dg)	الثمرة غير المكتملة التكوين خضراء داكنة — يزيد إنتاج الكاروتينويدات فى الثمرة المكتملة التكوين
	-	Jones (j) hp	يُماثل hp2
High pigment-3 (hp-3)	-	-	يزداد إنتاج الكاروتينويدات
Intensified pigmentation (Ip)	-	-	زيادة إنتاج الليكوبين
Modifier of B (mo-B)	6 L	mo (B),mo B, I^B, i^B	محور لـ B — يزداد محتوى البيتاكاروتين فى وجود B
Yellow (r)	3 S	-	يقل إنتاج الـ polyenes — ينخفض كثيرًا مستوى الكاروتينات — لب الثمرة أصفر اللون — يُشفر لإنتاج الـ phytoene synthase
	—	(1s) r^2	لُب الثمرة أصفر
	—	(2s), r^3, r-2, r2	لُب الثمرة أصفر — الأزهار بلون أصفر فاتح
	—	Provisional4 (prov4) و r	لُب الثمرة أصفر
	-	Provisional 5 (prov5) و r	لُب الثمرة أصفر
	—	Reddish yellow (y), ry	مُحور لظهور اللون الأحمر فى الثمار الصفراء

يتبع

تابع جدول (٦-٢).

الطفرة	الكروموسوم والذراع (القصير S أو الطويل L)	المرادفات	لون الثمرة
Sherry (sh)	10	-	لُب الثمرة أصفر يشوبه احمرار
Tangerine (t)	10 L	-	الثمار والأسدية برتقالية اللون – يُشكل الـ prolycopene أهم الكاروتينويدات الملونة – يُشفر لتمثيل الـ carotenoid isomerse
	-	tl^2	القمة النامية مصفرة – النمو الخضرى أصفر فاتح – يُماثل t فى لون الزهرة والثمرة
		Viresent (v)	لون الزهرة والثمرة يُماثل t تمامًا – يوجد اصفرار غير منتظم بالقمة النامية
Colorless fruit epidermis (y)	1S	-	لا توجد صبغات ببشرة الثمرة – جلد الثمرة غير ملون بينما اللب أحمر؛ مما يُكسب الثمرة لونًا ورديًا
– الأنثوسيانين Anthocyanin fruit (Aft)	–	–	يوجد تلون قرمزى متباين – يوجد الأنثوسيانين فى جلد الثمرة وغلافها الخارجى
Atroviolacium (atv)	7	-	يكثر إنتاج الأنثوسيانين بالثمرة والساق والأوراق
Aubergine (Abg)	10	-	بشرة الثمرة قرمزية اللون، وخاصة عند الأكتاف وفى الأجزاء المعرضة لضوء الشمس المباشر

ولقد أمكن التعرف على اثنتان من الـ QTLs لمحتوى الليكوبين بثمار الطماطم وُرِّثا من سلالة *S. pimpinellifolium* عالية فى محتواها من الليكوبين، وذلك على الكروموسومين ٧ (lyc7.1)، و ١٢ (lyc 12.1). وبينما لم تؤثر Lyc 7.1 جوهريًّا فى زيادة الليكوبين فى الحالة الخليطة، فإن النباتات التى حملت lyc 12.1 فى حالة خليطة احتوت على ٧٠,٣٪ زيادة فى محتوى الليكوبين عن الأب الرجعى (Kinkade & Foolad ٢٠١٣).

التحويل الوراثى للتحكم فى مستوى الصبغات

تحتوى ثمار الطماطم – عادة – على تركيز عالٍ من الليكوبين، وتركيز منخفض من البيتاكاروتين، ويتحول الليكوبين إلى بيتاكاروتين بفعل نشاط إنزيم الـ lycopene ß-cyclase.

وقد أمكن تحويل الطماطم وراثيًّا بما جعلها يزداد أو ينخفض فيها نشاط هذا الإنزيم. وعندما زِيد نشاطه بالتحويل الوراثى حدثت زيادة جوهرية (حتى أربعة أضعاف) فى محتوى الثمار من البيتاكاروتين، وأظهرت الثمار تباينات فى اللون من البرتقالى إلى البرتقالى المشوب بالحمرة، حسبما وصلت إليه نسبة الليكوبين إلى البيتاكاروتين فيها. وبالمقارنة.. فإنه عندما خُفِّض نشاط الإنزيم بالتحويل الوراثى (وهو الذى أصبح ٥٠٪ من النشاط الطبيعى) ازداد محتوى الثمار من الليكوبين. هذا.. ولم يتأثر محتوى الأوراق من الكاروتينات الكلية بالتحويلات الوراثية، بينما حدثت زيادة فى مستوى الكاروتينات الكلية بثمار التحويلات الوراثية، مقارنة بالمستوى فى السلالة الأصلية (Rosati وآخرون ٢٠٠٠، و Wurbs وآخرون ٢٠٠٧).

كذلك أمكن تحويل الطماطم وراثيًّا بجينين من نبات أنف العجل snapdragon لتمثيل الأنثوسيانين وجعل لون ثمارها قرمزيًّا. وإلى جانب غنى ثمار الطماطم — المحولة وراثيًّا — بالأنثوسيانين فإنها أطالت فترة حياة الفئران المصابة بالسرطان التى أُعطيت هذه الطماطم ضمن غذائها (Gonzali وآخرون ٢٠٠٩).

الفصل السابع

التربية لتحسين القيمة الغذائية والطبية

تُعد الطماطم أحد المصادر الهامة فى غذاء الإنسان لكل من فيتامين أ و حامض الأسكوربيك (فيتامين ج)، فضلاً عما تحتويه من ليكوبين، وبعض العناصر المعدنية كالفوسفور والبوتاسيوم، ومختلف مضادات الأكسدة. وقد أسهبنا فى الفصل السابق فى بيان محتوى ثمار الطماطم من مختلف الكاروتينات، وخاصة البيتاكاروتين — وهو بادئ فيتامين أ — والليكوبين.

هذا.. وتُعطى بعض أصناف الطماطم نتائج إيجابية فى اختبارات حساسية الجلد؛ بما يعنى إمكان إنتاج طماطم أقل نسبيًّا فى الحساسية (Dolle وآخرون ٢٠١١).

فيتامين أ

تعد الطماطم — مقارنة بمحاصيل الخضر الأخرى — متوسطة فى محتواها من فيتامين أ؛ حيث تحتوى الطماطم على ٩٠٠ وحدة دولية من فيتامين أ لكل ١٠٠ جم من الثمار الطازجة مقابل ٦٠ وحدة دولية فى القنبيط، و٢٤٠ فى الكرفس، و٣٣٠ فى الخس، و٦٠٠ فى الفاصوليا الخضراء، و٢٥٠٠ فى البروكولى، و٨٨٠٠ فى البطاطا الحلوة، و١١٠٠٠ فى الجزر. وبالرغم من ذلك.. فإن الطماطم تعد من أهم مصادر فيتامين أ للإنسان؛ نظرًا لزيادة الكميات المستهلكة منها مقارنة بالخضر الأخرى.

تتفاوت أصناف الطماطم — كثيرًا — فى محتواها من البيتاكاروتين، الذى يُصنّع منه فيتامين أ فى جسم الإنسان. وقد أنتجت أصناف طماطم غنية بفيتامين أ من تهجين مع السلالة P. I. 126445 للنوع البرى *S. habrochaites*، وهو نوع تكون ثماره الناضجة خضراء اللون، إلا أنه ظهر فى النسل الناتج من هذا التهجين نباتات ذات ثمار برتقالية اللون (الجين

B)، وأخرى ذات ثمار حمراء برتقالية. وأمكن بالتربية إنتاج صنف الطماطم كارو رد Caro-Red، الذى يتميز بثماره ذات اللون البرتقالى الضارب إلى الحمرة، والتى بلغ محتواها من فيتامين أ عشرة أضعاف محتوى ثمار الأصناف الأخرى (عن Tomes ١٩٧٢).

وأنتج كذلك الصنف كارو رتش Caro-Rich الذى تميز بثماره ذات اللون البرتقالى، والتى بلغ متوسط وزنها ١٧٥ جم، واحتوت على البيتاكاروتين بتركيز مماثل لما فى Caro Red قدر بنحو ٤٧,١ ± ١٤ ug لكل جم من الوزن الطازج (Tigchelaar & Tomes ١٩٧٤).

وبرغم أن هذين الصنفين لا يختلفان فى الطعم عن الأصناف العادية ذات الثمار الحمراء اللون– وهو ما ثبت تجريبيًّا بإجراء اختبارات التذوق تحت مرشحات للضوء، تخفى الفروق فى اللون بين مختلف الثمار — إلا أنها لم تنتشر أبدًا فى الزراعة، واقتصر استعمالها على نطاق محدود جدًّا فى السلطات مع الطماطم الحمراء العادية؛ ويرجع السبب فى ذلك إلى أن المستهلك لا يرضى بديلاً عن اللون الأحمر لثمار الطماطم.

وتجدر الإشارة إلى أنه ليست جميع أصناف الطماطم ذات الثمار البرتقالية غنية بالبيتاكاروتين، الذى يعد المصدر النباتى لفيتامين أ. ومن أمثلة ذلك الأصناف جولدن جوبولى Golden Jublee، وصن رى Sunray، وبن أورانج Pen Orange، التى تحتوى على خليط من الصبغات الكاروتينية (غير الليكوبين والبيتاكاروتين) يتكون معظمها من البروليكوبين prolycopene، والزيتاكاروتين. ويتحكم الجين t فى لون ومحتوى هذه الأصناف من الصبغات الكاروتينية، وهو جين نشأ كطفرة فى الطماطم، ولم ينقل إليها من الأنواع البرية.

وكما سبق بيانه تحت التربية لتحسين اللون.. فإن الجينين hp، و og^c يؤثران — كذلك فى محتوى ثمار الطماطم من فيتامين أ. فالجين og^c ينقص محتوى البيتاكاروتين بنسبة ٤٠٪، بينما يزيد الجين hp محتوى نفس الصبغة بنسبة ٤٠٪.

ونظرًا لارتباط اللون بمحتوى ثمار الطماطم من مختلف الكاروتينويدات؛ ومن ثم بقيمتها الغذائية .. فقد دُرست الـ QTLs المؤثرة فى القيمة الغذائية، والتى أمكن التعرف عليها من خلال تحليل انعزالات عشائر لتلقيحات بين الطماطم وأنواع الطماطم البرية، كما هو مبين فى جدول (٧-١).

جدول (٧-١): الـ QTLs التى تؤثر فى القيمة الغذائية لثمار الطماطم والتى أمكن التعرف عليها من خلال تحليل انعزالات عشائر لتلقيحات بين الطماطم *S. lycopersicum* وأنواع الطماطم البرية (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧)

النوع البرى	الصفة	عدد الـ QTLs وتأثيراتها بزيادة الصفة (+) أو نقصانها (-) (-)	عدد الـ QTLs وتأثيراتها بزيادة الصفة (+) أو نقصانها (-) (+)	الكروموسومات الحاملة لها
S. lycopersicum	اللون	0	8	2,3,4,8,9,11
S. habrochaites	اللون	15	18	1,2,3,4,6,8,9,10,11
S. neorickii	اللون	24	18	1,2,4,5,7,8,9,10,11,12
S. pennellii	اللون	10	12	2,3,4,6,7,8,9,10,11,12
	حامض الأسكوربيك	5	1	3,5,10,12
	الفينولات الكلية	6	3	3,5,6,7,8,9
S. peruvianum	اللون	12	5	1,3,4,6,7,8,9,10,12
S. pimpinellifolium	اللون	3	10	1,4,5,6,7,10,12

هذا.. وتتميز السلالة البرية CDP4777 من الطماطم الكريزية *S. lycopersicum* (الطراز cerasiforme) بغنى ثمارها (وهى برتقالية اللون ضاربة إلى البنى) بالبيتاكاروتين (دون انخفاض لمحتواها من الليكوبين)، وحامض الأسكوربيك. ولقد احتوت ثمار الجيل الأول الذى استخدمت هذه السلالة كأب فيه على ما يعادل قريبًا من ٤٥٠٪ من متوسط البيتاكاروتين، و ١٣٠٪ من متوسط حامض الأسكوربيك العاديين فى ثمار الطماطم. وفى

تلقيح بين هذه السلالة وسلالة الطماطم CDP8779 كان تراكم البيتاكاروتين إضافى بصورة أساسية (٣٢,٢٪ من المكون الوراثى)، مع مكون سائد صغير (٤,٢٪)، ومكون هام (٦٣,٦٪) لتفاعل: الإضافة × البيئة (Adalid وآخرون ٢٠١٢).

وعندما حوِّلت الطماطم وراثيًا بجينى الليكوبين β-cyclase من كل من: البكتيريا *Erwinia herbicola*، ونبات النرجس البرى daffodil (وهو: *Narcissus pseudonarcissus*) — كل على انفراد — لم يؤثر جين البكتيريا بقوة على مكونات كاروتينات الثمار، بينما حول الإنزيم النباتى الليكوبين — الذى يُشكل المخزون الرئيسى لكاروتينات ثمرة الطماطم — إلى β-carotene (Apel & Bock ٢٠٠٩).

حامض الأسكوربيك (فيتامين ج)

تعد الطماطم مقارنة بمحاصيل الخضر الأخرى متوسطة — كذلك — فى محتواها من فيتامين ج؛ حيث تحتوى ثمارها على ٢٣ مجم من حامض الأسكوربيك لكل ١٠٠ جم من الوزن الطازج مقابل ٦ مجم فى الخس، و٩مجم فى الكرفس، و٨مجم فى الجزر، و ٢٠ مجم فى البطاطس، و٢١ مجم فى البطاطا، و٢٧ مجم فى البسلة، و٧٨ مجم فى القنبيط، و١١٣ مجم فى البروكولى. وبالرغم من ذلك.. فإن الطماطم تعد من أهم مصادر فيتامين ج للإنسان؛ نظرًا لزيادة الكميات المستهلكة منها مقارنة بمحاصيل الخضر الأخرى.

ويصل محتوى السلالة PI365959 من *S. pimpinellifolium* من حامض الأسكوربيك إلى ٣٩,٤ مجم/١٠٠ جم من الثمار، وتتميز فيها تلك الصفة بأنها على درجة عالية من الثبات فى مختلف الظروف البيئية (Leiva–Brondo وآخرون ٢٠١٢).

وتختلف أصناف الطماطم — كثيرًا — فى محتوى ثمارها من فيتامين ج، ويتراوح المدى من ١٠—١٢٠ مجم/١٠٠ جم حسبما قُدِّر فى عدة دراسات (عن Nazeem ١٩٦٧، و Mathews وآخرين ١٩٧٣، و Radwan وآخرين ١٩٧٩، و Stevens ١٩٨٦، و Stevens & Rick ١٩٨٦).

وتتوفر مصادر فيتامين ج المرتفعة فى الأنواع البرية؛ خاصة النوعين *S. peruvianum*، و *S. pimpinellifolium*. وقد أمكن الحصول على نباتات منعزلة من التهجينات بين الطماطم وبعض سلالات النوع الثانى، بلغت نسبة فيتامين ج فى ثمارها ضعف النسبة العادية (عن Robinson ١٩٧٤). كما استخدم النوع الأول — *S. peruvianum* — فى إنتاج أصناف تجارية بلغ محتوى ثمارها من فيتامين ج ضعف النسبة العادية كذلك (حوالى ٥٠ مجم/١٠٠ جم)؛ ومن أمثلتها الصنفان دبل رتش Double Rich، وهاى سى Hi-C.

هذا.. إلا أن مجرد غنى ثمار هذه الأصناف بفيتامين ج لم يساعد على انتشارها فى الزراعة.. وهى حقيقة تؤكد على أن التربية للصفات غير الواضحة للمنتج أو للمستهلك — كهذه الصفة — يجب أن تصاحبها التربية للصفات الاقتصادية الأخرى (عن Munger ١٩٧٩).

ويبدو أن صفة المحتوى المرتفع لفيتامين ج ترتبط بانخفاض المحصول؛ فبالرغم من المحاولات العديدة لتربية أصناف جديدة عالية فى كل من المحصول وفيتامين ج.. إلا أن المحصول لم يكن مقبولاً فى السلالات العالية فى فيتامين ج (Stevens & Rick ١٩٨٦).

ومؤخرًا .. أمكن إنتاج صنف من الطماطم (VT8) تميز بارتفاع محتواه من كل من حامض الأسكوربيك (٢٢٠–٣٦٥ مجم/كجم)، ونسبة المواد الصلبة الذائبة الكلية (٥,٢٪–٧,٢٪)، وتراوح متوسط وزن ثماره بين ٥٨، و ٧٣ جم، وكان محصوله مماثلاً أو أعلى قليلاً من محصول أصناف المقارنة (Nigimori وآخرون ٢٠٠٥).

هذا.. وبناء على الصنف، والظروف البيئية، واكتمال تكوين ونضج الثمار، ومعاملات بعد الحصاد، فإن حامض الأسكوربيك يشكل من ٤٠٪ إلى ٩٠٪ من الأحماض العضوية التى توجد بثمرة الطماطم. ويُعد حامض الماليك هو الحامض العضوى الرئيسى بعد حامض الأسكوربيك (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧).

وقد وُجِهَت اتهامات بالتقصير إلى مربى النباتات بشأن عدم اهتمامهم بمحتوى الثمار من فيتامين ج فى الأصناف المحسنة، إلا أن الحقائق تؤكد أن مستوى الثمار من فيتامين ج قد ارتفع تدريجيًّا فى الأصناف التى أنتجت فيما بين عامى ١٩٥٢، و ١٩٧٢. وقد قدر متوسط الزيادة خلال تلك الفترة بنحو ٢٥٪ (Matthwes وآخرون ١٩٧٣).

وعن وراثة هذه الصفة.. أوضحت دراسات Nazeem (١٩٦٧) أن صفة المحتوى المرتفع لفيتامين ج بسيطة وسائدة جزئيًّا مع وجود بعض الجينات المحورة، وقدرت كفاءة توريثها بنحو ٩٣٪. وفى دراسة أخرى (Hassan وآخرون ١٩٨٧).. وجد أن صفة المحتوى المرتفع لحامض الأسكوربيك فى الصنف لارج رد شيرى Large Red Cherry – مقارنة بالمستوى المنخفض فى الصنف يوسى ٨٢ UC 82 – بسيطة ومتنحية جزئيًّا، بينما قدرت كفاءة توريثها بنحو ٦٧٪ فى المعنى العام، و٤٨٪ فى المعنى الخاص.

حامض الفوليك

أدى التعبير عن الإنزيم GTP cyclohydrolase I فى ثمار الطماطم المحولة وراثيًّا إلى زيادة محتواها من بادئ حامض الفوليك (الـ pteridine) بمقدار ٣ إلى ١٤٠ ضعف، وزيادة محتواها من حامض الفوليك بمقدار الضعف فى المتوسط (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧).

الليكوبين ومضادات الأكسدة الأخرى من حامض الأسكوربيك والفينولات وغيرها

تبلغ قدرة الليكوبين lycopene المضاد للأكسدة حوالى ضعف قدرة البيتاكاروتين، ويؤدى استهلاك الخضر والفاكهة الغنية فى الليكوبين إلى الحماية من الإصابة ببعض الأمراض السرطانية، مثل سرطان البروستاتا والرئة والقولون، وكذلك الحماية من الإصابة بأمراض القلب وإعتام عدسة العين cataract وتلطخات الجلد. وعلى الرغم من

أن الطماطم تُعد أغنى الخضر والفاكهة فى الليكوبين، فإن محتواها يُعد منخفض نسبيًّا؛ إذ يكون فى حدود ٣٠–٦٠ ميكروجرام/جم وزن طازج.

وقد أمكن بطرق التربية التقليدية إنتاج طماطم كريزية محدودة وغير محدودة النمو تتراوح أقطارها بين ١,٥، و ٣,٠ سم ويرتفع محتواها من الليكوبين إلى ١٠٠– ٢٠٠ ميكروجرام/جم وزن طازج، كما أمكن إنتاج طماطم استهلاك طازج محدودة وغير محدودة النمو ذات ثمار كمثرية أو برقوقية الشكل أو مطاولة ومتوسطة الحجم وتحتوى على تركيزات عالية من الليكوبين (Ibridge ٢٠٠٩).

وقد تميزت ثلاث سلالات من النوع *S. pimpinellifolium* بارتفاع محتوى ثمارها من مضادات الأكسدة (الليكوبين، والبيتاكاروتين، وحامض الأسكوربيك، والفينولات الكلية) وفى النشاط المضاد للأكسدة عن ثمار ٥٠ صنفاً من الطماطم جرى تقييمها. وقد أسهمت الفينولات الكلية بنصيب وافر من النشاط المضاد للأكسدة، ووجد ارتباط سالب بين النشاط المضاد للأكسدة وحجم الثمار (Hanson وآخرون ٢٠٠٤).

ووجد محتوىً فينولى مرتفع فى عدد من سلالات الطماطم الكريزية، وبخاصة سلالات: LA1712، و LA1455، و LA2633، و LA1668، و LA2632، كما وجدت مستويات عالية من كل من: الـ cafeoylquinic acids، و الـ rutin فى السلالة LA2633 (Boches وآخرون ٢٠١١).

وأظهرت دراسة قيمت فيها ١٤ سلالة من الطماطم لمحتوى ثمارها من كل من الليكوبين والبيتاكاروتين وحامض الأسكوربيك فى ثلاثة ظروف بيئية متباينة، ما يلى:

١– كانت أعلى السلالات محتوى فى جميع المكونات وفى كل الظروف البيئية السلالة CDP9822 (حوالى ١٤٠–٢٨٠ مجم/كجم من الليكوبين، و ٢٢–٢٤ مجم/كجم من البيتاكاروتين، و ١٩٠–٢٩٦ مجم/كجم من حامض الأسكوربيك).

٢– أظهرت بعض السلالات محتوى عالٍ من الليكوبين، مثل: Gevora، و CDP7090، و CDP1568.

٣- أظهرت بعض السلالات محتوى عالٍ من البيتاكاروتين، مثل: CBD4777، و CBD1568.

٤- أظهرت بعض السلالات محتوى عالٍ من حامض الأسكوربيك، مثل: CDP7632، و CBD4777 (Roselló وآخرون ٢٠١١).

وأنتج الباحثون سلالات من الطماطم يزداد فيها محتوى حامض الأسكوربيك والأنثوسيانين (بالاعتماد على الجينات: Aft للطفرة Anthocyanin fruit، و atv للطفرة atroviolacium، و Abg للطفرة Aubergine)، والكاروتينويدات واللون القاتم (بالاعتماد على الجينات: B للطفرة bet-carotene، و og^c للطفرة old-gold crimson، و hp1 للطفرة high pigment 1، و hp 2 للطفرة high pigment 2). تحسنت فى هذه السلالات صفات الجودة تلك دون التأثير على المحصول. وأمكن إنتاج سلالات شيرى ذات ثمار قرمزية تزداد فيها القيمة الغذائية عما فى ثمار الأصناف العادية (Sestari وآخرون ٢٠١٤).

وقد أظهرت ثمار الهجين النوعى بين السلالة LA1777 من *S. habrochaites* وسلالة الطماطم المحسنة 15SBSB نشاطً عاليًا مضادًا للأكسدة، وتركيزات عالية من الفينولات والفلافونيدات، والمواد الصلبة الذائبة الكلية. وجدت كذلك تركيزات عالية من كل من الكاروتينات الكلية والليكوبين وحامض الأسكوربيك فى سلالة الطماطم IIHR-249-1، كما احتوت سلالات الطماطم الشيرى IIHR-2865، و IIHR-2866 على تركيزات من البيتاكاروتين تزيد بمقدار ٤-٥ أضعاف ما تحتويه الأصناف والهجن التجارية (Kavitha وآخرون ٢٠١٤).

ويُعد الريوتين rutin (وهو quercetin-3-rutinoside) الفلافونول flavonol الرئيسى بثمار الطماطم، ويقتصر وجوده فى جلد الثمرة. وقد أمكن التوصل إلى introgression line (هى: LA 3984) تحتوى على جزء من دنا *S. habrochaites*

بالكروموسوم رقم ٥. تُظهر هذه السلالة مستويات عالية من الريوتين فى الثمار الحمراء التامة النضج تبلغ ١١-١٢ ضعف المحتوى فى ثمار الأصناف التجارية. وقد تم توصيف QTL ترتبط بالمحتوى العالى من الريوتين فى هذه السلالة وتحديد موقعها على الكروموسوم رقم ٥ (Hanson وآخرون ٢٠١٤).

ودُرست مكونات ثلاثة عشائر من الطماطم — ناتجة من تلقيحات نوعية مع أنواع برية مع التلقيح الرجعى للطماطم — فى كل من النشاط المضاد للأكسدة الكلى (للمركبات الذائبة فى الماء)، والمحتوى الفينولى الكلى، وحامض الأسكوربيك بالإضافة إلى صفات وزن الثمره وشكلها ولونها. كانت التلقيحات النوعية مع كل من: السلالة LA1589 من *S. pimpinellifolium*، و LA1223 من *S. habrochaites*، و LA2172 من *S. peruvianum*. وقد تفوقت عشائر التهجين الرجعى الثلاث على *S. lycopersicum* فى صفات مضادات الأكسدة الثلاث باستثناء صفة محتوى حامض الأسكوربيك فى حالة الهجين النوعى مع السلالة LA1223 من *S. habrochaites*، ولكن ذلك التهجين كان الأفضل فى النشاط المضاد للأكسدة الكلى وفى المحتوى الفينولى الكلى، بينما كان التهجين النوعى مع السلالة LA2172 من *L. peruvianum* الأفضل فى محتوى الثمار من حامض الأسكوربيك؛ حيث بلغ ضعف محتوى الفيتامين بثمار أصناف الطماطم المزروعة (Top وآخرون ٢٠١٤).

كما درست وراثة محتوى ثمار الطماطم الناضجة من مختلف مضادات الأكسدة والمركبات ذات القيمة الغذائية فى سلالات حُصِلَ عليها من تلقيح بين الطماطم والنوع البرى *S. pennellii*. وأمكن التعرف على ٢٠ QTLs، منها خمس تتحكم فى القدرة الكلية على تضادية الأكسدة فى الجزء الذائب فى الماء من مضادات الأكسدة (ao)، وست تتحكم فى حامض الأسكوربيك (aa)، وتسع تتحكم فى الفينولات الكلية (phe)، وقد أسهم بعضها (وهى: ao-3، و ao 7-2، و ao 10-1، و aa 12-4، و phe 6-2، و phe 7-4) فى زيادة مستوى مضادات الأكسدة، مقارنة بما فى سلالة الطماطم التى

استخدمت فى التلقيح. كذلك أمكن التعرف على أربع QTLs تتحكم فى مستوى الليكوبين، لكن أى منها لم يؤد إلى زيادة المستوى فى سلالة الطماطم التى استخدمت فى التهجين. وأمكن أيضًا التعرف على اثنتان من الـ QTLs (وهى: bc6-2، و bc6-3) تحكمتا فى مستوى البيتاكاروتين، وعملتا على زيادة مستواه. وقد أظهرت الصفات التى شملتها الدراسة تفاعلاً قويًّا مع العوامل البيئية (Rousseaux وآخرون ٢٠٠٥).

الفوسفور والبوتاسيوم

يتراوح مستوى الفوسفور فى ٢٥ صنفًا من الطماطم من ١٢–٢٧ ملليمكافئًا/لتر. ويبدو أن مستوى الفوسفور صفة كمية يتحكم فيها عدد قليل من الجينات. وقد وجد أن لهذه الجينات تأثيرات مضيفة وسيادية ومتفوقة. كما تأثرت وراثة الصفة — بشدة — بالتفاعل بين البيئة والتركيب الوراثى؛ ويبدو أن هذا التفاعل يرجع إلى العوامل البيئية التى تؤثر فى نمو الجذور؛ لأن امتصاص الفوسفور يعتمد كثيرًا على مدى توفر هذا النمو.

أما البوتاسيوم.. فإنه يعتبر الكاتيون غير العضوى السائد فى ثمار الطماطم، حيث تراوح مستواه فى ٥٥ صنفًا وسلالة من ٤٥–٨٧ ملليمكافئًا/لتر. ويوجد ارتباط جيد بين محتوى البوتاسيوم بالثمار وبين كل من التلون الجيد والحموضة المعايرة (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧).

الجليكوألكالويدات

يتراكم فى ثمار الطماطم اثنان من الجليكوألكالويدات glycoalkaloids، هما الألفاتوماتين ∝-tomatine، والدهيدروتوماتين dehydro-tomatine بنسبة ١٠ : ١. ويرتبط استهلاك التوماتين بانخفاض فى دهون الكوليسترول المنخفضة الكثافة LDL cholesterol ومستوى الدهون الثلاثية triglycerides فى الدم. وعلى خلاف جليكوألكالويدات البطاطس، فإنه يبدو أن جليكوألكالويدات الطماطم أقل سمية للإنسان، وربما كان مرد ذلك إلى أنها تُستبعد من الجسم كمعقد غير ذائب من التوماتين والكوليسترول.

وقد تبين أن أكثر أنواع الطماطم البرية احتواء على التوماتين بالثمار كانت سلالات *S. chmielewskii* (عن Labate وآخرين ٢٠٠٧).

إن الألكالويد ألفاتوماتين ∝-tomatine يتواجد بتركيزات عالية جدًّا فى المراحل المبكرة جدًّا من تكوين ثمرة الطماطم، ثم ينخفض سريعًا بعد ذلك حتى منتصف مراحل تكوينها، إلى أن يصل إلى قريبًا من الصفر عند النضج، كنتيجة لتحوله بيولوجيًّا إلى مركبات خاملة. ولقد وُجدت سلالة من الطماطم الكريزية تحتوى ثمارها الناضجة على تركيزات عالية جدًّا (٥٠٠–٥٠٠٠ ميكروجرام/ جم من المادة الجافة) من الألفاتوماتين. ينحصر تواجد تلك السلالة فى مساحة صغيرة بوادى Rio Mayo فى بيرو، وليس فى أى مكان آخر. وقد وجدت علاقة قوية (٩٠٪) بين التركيز العالى للألفاتوماتين بالثمار ومرارتها، ويُعتقد بأن المركب هو السبب فى تلك المرارة. هذا.. ولم يؤثر المحتوى العالى للألفاتوماتين سلبيًّا على قاطنى تلك المنطقة الذين يألفون تلك المرارة ويحبونها.

ولقد تبين من دراسة وراثية أن صفة التركيز العالى للألفاتوماتين فى الثمار الناضجة يتحكم فيها جين واحد متنحٍ (Rick وآخرون ١٩٩٤).

الفصل الثامن

التربية لمقاومة العيوب الفسيولوجية

نقصر مناقشتنا فى هذا الفصل على التربية لمقاومة العيوب التى تظهر على الثمار سواء أكان ظهورها لأسباب فسيولوجية ويتحكم فيها عوامل وراثية، أم كانت صفات وراثية قليلة التأثر بالعوامل البيئية.

التشقق العمودى والدائرى والتفلق

تختلف أصناف الطماطم — كثيرًا — فى قابلية ثمارها للإصابة بالتشقق cracking، سواء أكان هذا التشقق عموديًا radial، أم دائريًّا concenteric، أم كان تفلقًا bursting.

اختبار القابلية للتشقق

تتطلب التربية لمقاومة تشققات الثمار تعريض النباتات أو الثمار لظروف مهيئة لظهور التشققات فى الأصناف أو السلالات القابلة للإصابة، ثم تقدير درجة الإصابة حسب شدة الأعراض.

وتختبر قابلية الأصناف للإصابة بالتشقق بوسائل مباشرة، وأخرى غير مباشرة كما يلى:

١–رى الحقول ريًا غزيرًا أثناء مرحلة النضج الأحمر للثمار؛ حيث يؤدى هذا الإجراء إلى إحداث تفلقات كثيرة وتشققات عمودية فى الثمار التى لديها الاستعداد لذلك. ويفيد الرى بالرش، خاصة فى هذا الشأن.

٢–أمكن استبعاد مختلف العوامل البيئية المؤثرة فى التشقق؛ باختبار معملى

تُعرَّض فيه الثمار – وهى فى بداية مرحلة التلوين – لتفريغ جزئى وهى مغمورة فى الماء، مع استمرار التفريغ إلى أن يتوقف خروج الفقاعات من مكان عنق الثمرة، ثم يوقف التفريغ، مع استمرار غمر الثمار فى الماء تحت الضغط الجوى العادى، يؤدى الاختبار إلى إحداث تشققات فى الثمار تتناسب شدتها مع مدى قابلية التركيب الوراثى للإصابة.

٣–اختبار مدى متانة جلد الثمرة كدليل على مدى مقاومتها للتشقق، برغم أنه لم يقم دليل قوى على وجود علاقة مؤكدة بين الصفتين. هذا... إلاّ أن Voisey وآخرين (١٩٧٠) وجدوا أن اختبار الوخز Puncture test – وهو مقياس لمتانة جلد الثمرة – أفاد فى تقييم درجة التشقق. وقد أوضح الباحثون أن مساندة الجدر الثمرية للجلد فى المقاومة للوخز يمكن أن تؤثر فى النتائج.

٤–استفاد Chu & Thompson (١٩٧٢) من الارتباط بين المقاومة للتشقق وصفة الكأس اللحمى Fleshy Calyx فى الانتخاب لمقاومة التشقق. وتتميز صفة الكأس اللحمية – وهى مستمدة من النوع البرى *S. habrochaites* – بأن كأس الثمرة تكون سميكة، وفصوصها عريضة، خاصة عند القاعدة. وقد لاحظ الباحثان أن النباتات المنعزلة فى هذه الصفة كانت أكثر مقاومة للتشقق. وبرغم أن صفة الكأس اللحمية بسيطة، ويتحكم فيها جين واحد ذو سيادة غير تامة (الجين fl)، وأن هذا الجين ليس له تأثير متعدد على المقاومة للتشقق.. إلاّ أن الباحثين اعتقدا فى أهمية هذه الصفة عند الانتخاب لمقاومة التشقق.

وتقاس التشققات – بعد إحداثها – بإحدى الطرق الآتية:

١–باستخدام مقياس وصفى للدرجات المختلفة للتشقق.

٢–بعمل خريطة للتشققات، ثم قياس أطوالها باستعمال بلانيمتر Planimeter. وتتميز هذه الطريقة بالدقة، إلاّ أنها بطيئة للغاية، ولا تصلح لأغراض التربية.

وقد أجريت عديد من الدراسات على وراثة صفة المقاومة للتشقق فى ثمار الطماطم، وهى تكاد تجمع على أنها صفة كمية يتحكم فيها أكثر من جين. ومن النتائج التى أمكن التوصل إليها أن صفتى المقاومة للتشقق العمودى والتشقق الدائرى يتحكم فيها جينات ذات تأثير مضيف ومستقلة عن بعضها البعض.

وراثة المقاومة للتشقق

أوضح Gilbert عام ١٩٥٩ أن المقاومة لنيماتودا تعقد الجذور — المتحصل عليها من النوع البرى *S. peruvianum* — ترتبط بالقابلية للإصابة بالتشقق الدائرى، إلا أنه أمكن كسر هذا الارتباط. كذلك ذُكِرَ أن المقاومة للتشقق الدائرى صفة متنحية، بينما يتحكم فى المقاومة للتشقق العمودى ٢-٣ أزواج من الجينات الرئيسية — منها جين واحد على الأقل سائد — بالإضافة إلى عدة جينات أخرى أقل تأثيرًا، كما وُجِدَ أن صفة المقاومة للتشقق تورث مستقلة عن صفة حجم الثمرة. أما صفة التفلق.. فقد وجد أنه يتحكم فيها زوجان من العوامل الوراثية؛ أحدهما سائد، والثانى متنحٍ، وهى صفة تورث مستقلة عن التشقق بنوعيه (عن Walter ١٩٦٧).

ووجد أن صنف الطماطم Richansky يتميز بمقاومته التامة لتشقق الثمار الدائرى والعمودى، وأن تلك الصفة يتحكم فيها جين واحد سائد، أُعطى الرمز RSC (من المقاومة لتشقق الجلد skin crack resistance) (Avdeyev & Ivanova ٢٠٠٠).

طبيعة المقاومة للتشقق

أوضحت دراسات Cotner وآخرين (١٩٦٩) أن الثمار المقاومة للتشقق تميزت بما يلى:

١-كانت خلايا البشرة منبسطة ومفلطحة Flattened فى حالة المقاومة للتشقق الدائرى — مقارنة بالثمار القابلة للإصابة — بينما لم تلاحظ أية فروق فى شكل خلايا البشرة فى حالة المقاومة للتشقق العمودى.

٢-كانت الأنسجة الوعائية أكثر كثافة فى الثمار المقاومة للتشقق بنوعيه.

كما وجد أن جلد الثمار المقاومة للتشقق احتوى على عدد أقل من طبقات الخلايا الكولنشيمية، كما كانت هذه الخلايا أقل انضغاطًا، وتغلغل بينها الكيوتين بدرجة أكبر مما فى الثمار القابلة للإصابة. ووجد Voisey وآخرون (١٩٧٠) أن المقاومة للتشقق لا ترتبط بسمك جلد الثمرة، وإنما بمدى متانته وقابليته للتمدد. وتتوقف هاتان الخاصيتان على مدى تغلغل طبقة الكيوتين الخارجية بين خلايا الطبقة الخارجية للجلد.

أما بالنسبة لصفة الكأس اللحمى — التى وجد أنها مرتبطة بصفة المقاومة للتشقق — فقد ذكر Chu & Thompson (١٩٧٢) أن الأوراق (السبلات) اللحمية ربما تعمل على تجنب امتصاص الثمرة لكميات زائدة من الماء؛ الأمر الذى يقلل من إصابتها بالتشقق.

التشقق الأديمى

التشقق الأديمى cuticle cracking يظهر فى طبقة أديم cuticle الثمرة ولا يصل إلى طبقة الجلد، وهى التى تعرف مع الأديم باسم epicarp.

وراثة المقاومة للتشقق الأديمى

قُدِّرت كفاءة توريث المقاومة للتشقق الأديمى بنحو ٠,٦٢– ٠,٨٩ فى المعنى العام، و ٠,٤٥ — ٠,٦٩ فى المعنى الضيق (Emmons & Scott ١٩٩٨أ).

طبيعة المقاومة للتشقق الأديمى

دُرست الاختلافات التشريحية بين ثلاثة أصناف مقاومة للتشقق الأديمى (هى: Fla. 7497، و Fershmarket 9، و Campnell 28) وصنفين قابلين للإصابة (هما: Fla 7181، و Suncoast) وتبين أن طبقتى الأديم cuticle والبشرة epidermis كانتا أسمك جوهريًا فى الأصناف المقاومة (١٠,٣٨ — ١١,٣٧ ميكروميتر) عما فى الصنفين القابلين

للإصابة (٦,٤٥– ٧,٧٦ ميكروميتر). وارتبط سمك الأديم سلبيًّا (r = –٠,٤٣) مع انعكاس الضوء من على الثمرة، وأمكن تقدير السمك بقياس انعكاس الضوء من عليها. وقد ازدادت الإصابة بالتشقق الأديمى فى الأصناف ذات الثمار الكروية وعديمة المفصل بالعنق عما فى الأصناف ذات الثمار المبططة، وذات المفصل. كذلك ازدادت الإصابة بالتشقق الأديمى مع زيادة حجم الثمرة (Emmons & Scott ١٩٩٨ب).

ووُجد من دراسة على ثلاثة أصناف من الطماطم الشيرى تتباين فى إصابتها بتشقق أديم الثمرة، هى: Inbred 10 (مقاوم)، و Sweet 100 (وسط)، و Sousalito Coctail (يُصاب) أن سمك أغشية الأديم cuticular membranes يمكن استعمالها كمقياس لقابلية إصابة ثمار طماطم الشيرى بالظاهرة، حيث تزداد المقاومة بزيادة سمك الأغشية (Matas وآخرون ٢٠٠٤).

تعفن الطرف الزهرى

تتعرض جميع أصناف الطماطم للإصابة بتعفن الطرف الزهرى blossom end rot، إلاّ أن حدة الإصابة تزداد فى الأصناف الكمثرية؛ مثل سان مارزانو San Marzano. وتعتبر الأصناف ذات الثمار المستطيلة elongated – مثل كاسلونج Castlong – أكثرها قابلية للإصابة؛ حيث تظهر عليها أعراض الإصابة بشدة عندما لا تتوفر لها الرطوبة الأرضية بانتظام.

وراثة المقاومة لتعفن الطرف الزهرى

أوضحت الدراسات الوراثية وجود ارتباط قوى بين شدة الإصابة بتعفن الطرف الزهرى، وصفة النضج الأخضر المتجانس؛ حيث زادت الإصابة جوهريًّا فى الثمار uu عما فى الثمار UU، و Uu.

طبيعة المقاومة لتعفن الطرف الزهرى

ترتبط صفة مقاومة تعفن الطرف الزهرى بقدرة النبات على امتصاص وتمثيل

الكالسيوم. وتأكيدًا لذلك.. وجد Greenleaf & Adams (١٩٦٩) فى ثلاث سلالات من الطماطم العلاقات التالية:

١-كانت السلالة Au-1 مقاومة بدرجة عالية لتعفن الطرف الزهرى، وذات قدرة كبيرة على امتصاص الكالسيوم وتركيزه فى النبات.

٢-كانت السلالة Au-3 مقاومة بدرجة متوسطة للعيب الفسيولوجى، ولزم لها كميات أقل من الكالسيوم حتى لا تظهر عليها أعراض الإصابة.

٣-كانت السلالة Au-2 شديدة القابلية للإصابة بالعيب الفسيولوجى، وذات احتياجات كبيرة من الكالسيوم، إلاّ أن قدرتها على امتصاص ونقل الكالسيوم فى النبات كانت منخفضة.

ندبة أو أثر الطرف الزهرى

تُعرف نُدبة أو أثر الطرف الزهرى باسم blossom end scar. وتتباين الأصناف كثيرًا فى مساحة تلك الندبة من مجرد نقطة صغيرة لا تكاد تُلاحظ إلى مساحة كبيرة ومتفرعة، وخاصة فى الأصناف الشديدة التفصيص.

وفى إحدى الدراسات لوحظت أصغر ندبة للطرف الزهرى فى السلالة N-643 وذلك من بين ٢٧ تركيبًا وراثيًا جرى تقييمها (Elkind وآخرون ١٩٩٠).

تتكون نُدبة الطرف الزهرى من نسيج فلينى عند موضع قاعدة القلم (قلم الزهرة قبل عقدها)، وتحتوى – عادة – على قنوات تقود إلى أنسجة الفجوات الداخلية. تزداد نسبة ذلك العيب فى الثمار كبيرة الحجم وتنعدم – تقريبًا – فى الثمار ذات الطرف الزهرى المدبب. وهو عيب يسئ إلى مظهر الثمرة ويقلل من قدرتها على التخزين (Barten وآخرون ١٩٩٣).

وراثة أثر الطرف الزهرى

تراوحت كفاءة توريث أثر الطرف الزهرى بين ٠,٧١، و ٠,٩٢ حسب طريقة التقدير (Elkind وآخرون ١٩٩٠).

كما وجد أن عدد فتحات ندب الطرف الزهرى صفة كمية، وقُدرت كفاءة توريثها فى تلقحين مختلفين بنحو ٠,٢٥، و ٠,٥٥، كما كان الارتباط بين عدد فتحات نُدب الطرف الزهرى وحجم تلك الندب جوهريًا (r = ٠,٥- ٠,٧) (عن Barten وآخرين ١٩٩٣).

وقد وجد أن الجينات التى تتحكم فى وراثة دليل ندبة الطرف الزهرى blossom-end scar index (وهو مقياس لحجم ندبة الطرف الزهرى نسبة لحجم الثمرة) ذات تأثير مضيف بصورة أساسية (Barten وآخرون ١٩٩٣).

أثر العنكبوت

يظهر العيب الفسيولوجى "أثر العنكبوت" spider track كنسيج شعاعى من خلايا بشرية فاقدة للونها ومتحللة، تمتد من عند أثر العنق. وقد وجد أن تلك الحالة تكثر فى سلالة التربية Fla 850276-1 (Scott & Barten ١٩٩٢).

وراثة أثر العنكبوت

عندما لقحت سلالة التربية Fla 850276-1 التى تكثر بها الظاهرة مع الصنف Walter المقاوم للظاهرة، وجد أنها صفة كمية يتحكم فيها جينات ذات تأثير مضيف مع تأثير قليل للسيادة نحو ظهور العيب، ومع تأثير كبير للعوامل البيئية. وقد قُدِّرت كفاءة التوريث بنحو ٠,٤٧ فى المعنى الضيق، و ٠,٦١- ٠,٦٤ فى المعنى العام، وقُدر عدد العوامل الوراثية المتحكمة فى الصفة بنحو ٤,٦ (Scott & Barten ١٩٩٢).

وجه القط

تتباين أصناف الطماطم – كثيرًا – فى شدة إصابة ثمارها بوجه القط cat face، وهى ظاهرة تزداد حدتها فى الأصناف ذات الثمار الشديدة التفصيص وفى الظروف البيئية غير المناسبة للتلقيح الجيد وأثناء تكوين المبيض، وخاصة فى الجو البارد.

التقييم لمقاومة وجه القط

يُفيد رش شتلات الطماطم مرة واحدة عند شتلها بالجبريللين بتركيز ٥–٥٠ ميكرومول إلى زيادة إصابة الثمار بوجه القط فى الأصناف التى تكثر بها تلك الظاهرة طبيعيًّا مثل Revolution، بينما لا تتأثر بنفس القدر الأصناف المقاومة لها مثل Valeri. وقد ساعد الرش بالجبريللين مرتان بينهما ١٠ أيام فى استمرار ظهور الأعراض على العناقيد الزهرية التالية فى التكوين؛ بما يسمح بتقييم أصناف – تتباين فى درجة تبكيرها – فى المقاومة لظاهرة وجه القط (Wien & Zhang ١٩٩١).

كذلك وجد أن رش بادرات أربعة عشر صنفًا من أصناف الاستهلاك الطازج وهى بعمر حوالى خمسة أسابيع بحامض الجبريلك بتركيز ٢٢ ميكرومول مرتان بينهما أسبوع أدت إلى زيادة معدلات ظهور حالة وجه القط وأظهرت الاختلافات بين الأصناف. وفى ذلك الاختبار كانت أقل الأصناف تأثرًا بحالة وجه القط هى: Valerie، و Sunrise، و Basketvee، وكانت أكثرها إصابة الأصناف: Starfire، و New Yorker، و Olympic (Wien & Turner ١٩٩٤).

النضج المتلطخ

قُيمت ثمانية أصناف من الطماطم لحالة عدم انتظام تلون الثمار عند نضجها (النضج المتلطخ blotchy ripening)، والذى تسببه تغذية الذبابة البيضاء من الطراز B *B. argentifollii*، وكانت جميعها قابلة للإصابة، وظهرت عليها الأعراض داخليًّا وخارجيًّا، إلا أن الأعراض الخارجية كانت أقل وضوحًا فى الصنف Colonial، مقارنة بما حدث فى باقى الأصناف (Powell & Stoffella ١٩٩٥).

الجيوب

تختلف أصناف الطماطم — كثيرًا — فى استعدادها الوراثى للإصابة بالجيوب puffiness، ويعتقد أن الأصناف ذات الثمار الكبيرة المنضغطة المتعددة المساكن أقل تعرضًا للإصابة بالجيوب من الأصناف ذات الثمار الكروية، أو الكمثرية الصغيرة القليلة المساكن.

وراثة المقاومة للجيوب

تبين من الدراسات الوراثية التى أجراها Palevitch & Kedar (١٩٧٠) — تحت ظروف الحقل — أن المقاومة للجيوب صفة سائدة جزئيًّا، ويتحكم فيها عدد قليل من الجينات، وأنها ذات درجة توريث مرتفعة نسبيًّا.

التربية للتخلص من الظواهر الوراثية غير الطبيعية

التربية للتخلص من جدرى الثمار

إن جدرى الثمار Fruit Pox مرض وراثى، يظهر على ثمار الطماطم فى شكل بقع صغيرة أدكن لونًا من بقية الثمرة، تصبح ذهبية اللون عند اكتمال نضج الثمرة. تجف البقع وربما تتفتح عندما تتعرض الثمار المصابة لأشعة الشمس؛ مما يسمح بإصابتها بالفطريات المسببة للعفن. وتلك حالة وراثية يتحكم فى ظهورها جين واحد متنح. وتستبعد النباتات الحاملة لهذا الجين أولاً بأول فى برامج التربية (Univ. of Calif. ١٩٨٢).

التربية للتخلص من اللون الأخضر فى جيلاتين المساكن

تظهر المادة الجيلاتينية المحيطة بالبذور — أحيانًا — بلون أخضر، برغم اكتمال نضج الثمار.

تعرف هذه الحالة باسم green gel، وهى ظاهرة وراثية، تتأثر حدتها بالعوامل البيئية، وتتباين أصناف الطماطم فى قابليتها للإصابة بها. ويذكر Walter (١٩٦٧) أن هذه الصفة يتحكم فى ظهورها زوجان من العوامل الوراثية المتنحية.

الفصل التاسع

التربية لتحسين القدرة التخزينية

العوامل المؤثرة فى مدى صلاحية الثمار للتخزين

يجب — بداية — التمييز بين صفتى صلابة الثمار، وفترة صلاحيتها للتخزين shelf life. فقد تتساوى ثمار صنفين من الطماطم فى الصلابة عند حصادها فى طور النضج الأحمر، ولكن سريعًا ما تظهر اختلافات كبيرة بينهما — فى درجة صلابتها — خلال أسبوع واحد من تخزينها فى درجة حرارة الغرفة.

وتتوقف فترة الصلاحية للتخزين على عاملين رئيسيين، هما:

١- صلابة الثمرة عند الحصاد

حيث تزيد فترة صلاحية الثمار للتخزين بزيادة صلابتها عند الحصاد. وتختلف الصلابة باختلاف الأصناف وباختلاف مرحلة نضج الثمار عند الحصاد. تدوم تلك العلاقة لفترة قصيرة، ويظهر بعدها تأثير العامل الثانى.

٢- مدى نشاط الإنزيمات التى تعمل على تحليل المواد البكتينية pectolytic en-zymes فى الثمار:

تزداد فترة صلاحية الثمار للتخزين بانخفاض نشاط هذه الإنزيمات

وتفقد الثمار صلابتها أثناء نضجها بفعل بعض التغيرات الإنزيمية فى المركبات البكتينية، وهذه التغيرات هى:

١-تلتصق خلايا الثمار غير الناضجة بشدة بواسطة مادة البروتوبكتين protipectin التى تتوفر فيها.

٢-يتحول البروتوبكتين — إنزيميًا — أثناء نضج الثمار إلى بكتين pectin بفعل إنزيم بروتوبكتينيز.

ويعتبر البكتين أقل قدرة على لصق الخلايا من البروتوبكتين.

٣- يتحول البكتين — إنزيميًا — مع استمرار نضج الثمار إلى مركبات أخرى؛ مثل: الأحماض البكتينية pectic acids بفعل إنزيمات البكتينيز pectinase وبولى جالاكتيورونيز polygalacturonase، وبكتين إستريز pectin-estrase.

ويرجح أن تحلل المواد البكتينية يضعف الشبكة المعقدة للمركبات العديدة التسكر فى الجدر الخلوية، مما يؤدى إلى ضعف الاتصال بين الخلايا وفقد الصلابة بالتالى (Gould ١٩٧٤). وتحدث هذه التغيرات فى المواد البكتينية سواء أكانت الثمار صلبة، أم غير صلبة (Malis-Arad وآخرون ١٩٨٣). إلا أن بعض سلالات التربية تحتوى على جينات توقف بعض هذه التفاعلات الإنزيمية أو تثبطها، مما يترتب عليه عدم فقد الثمار لصلابتها، واستمرارها بحالة صلبة لعدة أشهر، كما فى حالة الطفرات rin، و nor، و Nr، و alc، و Gr. وقد عرف الكثير عن نشاط الإنزيمات — التى تحلل المواد البكتينية — ودورها فى عملية النضج من خلال الدراسات التى أجريت على هذه الطفرات المؤثرة فى نضج الثمار.

ولقد أُجريت دراسة لتحديد المواقع الكروموسومية لإثنين وثلاثين موقعًا جينيًا مستقلاً تتحكم فى نضج الثمار، أو الاستجابة للإثيلين، أو هما معًا باستخدام الـ RFLP (Giovannoni وآخرون ١٩٩٩).

وفى دراسة أجريت على سلالات حُصِلَ عليها من تهجين بين الطماطم والسلالة LA722 من *S. pimpinellifolium* .. أمكن التعرف على QTLs ذات تأثير متنحٍ — حُصِلَ عليها من النوع البرى — أسهمت فى زيادة فترة صلاحية الثمار للتخزين. كذلك حُصِلَ من النوع البرى على QTLs لصفات الجودة لم يسبق التعرف عليها (da Costa وآخرون ٢٠١٣).

الطفرات المؤثرة فى نضج الثمار

طفرة "مانع النضج" ripening inhibitor (rin)

يتحكم فى هذه الطفرة الجين المتنحى rin. وتتميز ثمار النباتات الأصيلة فى هذا الجين بما يلى:

١-تظل الثمار محتفظة بصلابتها لفترة طويلة بعد الحصاد، ولا تفقدها إلا ببطء شديد.

٢-لا تظهر بها ظاهرة الكلايمكترك climacteric كما فى الثمار الطبيعية.

٣-لا تتكون بها الصبغات الكاروتينية العادية بالكميات أو بالنسب التى توجد فى الأصناف العادية.

لا يمكن الاستفادة من هذا الجين إلا فى الهجن فقد؛ ذلك لأن النباتات الأصلية rin rin لا تتلون ثمارها باللون الأحمر، وأقصى ما يمكن أن تصل إليه هو اللون الأصفر. لا تكون هذه الثمار مستساغة الطعم؛ وعليه فهى لا تصلح للاستهلاك. أما ثمار النباتات الخليطة +/rin .. فيجب ألا تقطف قبل وصولها إلى طور النضج الأحمر. وإذا جمعت — وهى فى طور النضج الأخضر — فإنها لا تصل فى التلوين إلى أكثر من اللون البرتقالى المصفر، وتكون رديئة الطعم. هذا.. إلا أن طعمها يكون مقبولاً إذا قطفت وهى مكتملة التلوين (Kopeliovitch وآخرون ١٩٨٢).

ويبدو أن احتفاظ الثمار الحاملة للجين rin بصلابتها أثناء التخزين مرده إلى أنها تخلو من أى نشاط لإنزيم polygalacturonase. ففى دراسة — قورن فيها نشاط الإنزيمات pectinestrase، و polygalacturonase، و cellulase (وهى الإنزيمات المسئولة عن التغيرات التى تؤدى إلى فقدان ثمار الطماطم لصلابتها) فى ثمار على درجات مختلفة من النضج من سلالتين من الصنف رتجرز Rutgers إحداهما عادية، بينما تحمل الأخرى الجين rin — وجد أن نشاط هذه الإنزيمات فى السلالة الحاملة

للطفرة مقارنة بالسلالة العادية كان كما يلى: لم يتغير نشاط إنزيم pectinestrase أثناء نضج الثمار، وازداد نشاط إنزيم cellulase، بينما لم يلاحظ أى نشاط لإنزيم polygalacturonase (عن Whitaker ١٩٧٩).

طفرة "عدم النضج" non-ripening (nor)

يتحكم فى هذه الطفرة الجين المتنحى nor، وتتميز ثمار النباتات الأصيلة فى الطفرة بأنها تتلون ببطء شديد، وتبقى محتفظة بصلابتها لعدة أشهر بعد الحصاد. يستخدم هذا الجين — كذلك — فى الهجن فقط؛ ذلك لأن النباتات الأصيلة nor nor لا تتلون بأكثر من اللون البرتقالى المصفر بعد أكثر من ٥-٦ شهور من القطف، فضلاً على أن طعمها غير مستساغ ولا تصلح للاستهلاك. أما الثمار الخليطة +/nor .. فإنها تنضج بصورة طبيعية، وتكتسب لونًا أحمر عاديًا إذا تركت لتكمل نضجها على النبات؛ ويكون طعمها جيدًا — خاصة إذا أنتجت فى بيئة ملحية — أما إذا قطفت هذه الثمار قبل اكتمال تلوينها.. فإنها لا تكمل نضجها بصورة طبيعية؛ حيث تظل باهتة اللون إذا قطفت فى طور النضج الوردى، ولا تتلون إذا قطفت فى طور النضج الأخضر (Buescher وآخرون ١٩٨١).

وترجع قدرة ثمار هذه الطفرة على الاحتفاظ بصلابتها لفترات طويلة — عند التخزين — إلى ضعف نشاط إنزيم الـ polygalacturonase بها.

لم يظهر بثمار الطفرة nor/nor أىّ كلايمكترك للتنفس أو إنتاج الإثيلين، وفقدت صلابتها ببطء شديد، مع ظهور مستويات شديدة الانخفاض من نشاط الإنزيم polyglacturonase فى الثمار المكتملة التكوين، وكانت أهم الكاروتينات فيها: الـ phytoene، والبيتاكاروتين، والـ neurosporene. وعندما أصبحت الثمار بعمر ١٢٠ يومًا من العقد كانت أهم الكاروتينات فيها الليكوبين والبيتاكاروتين، إلاّ أن نسبة الليكوبين كانت أقل من ١٠٪ (Ng & Tigchelaar ١٩٧٧).

وبينما يؤدى تواجد الجين nor بحالة أصيلة إلى منع نضج الثمار كلية، فإن تواجده بحالة خليطة يؤدى إلى إطالة فترة تخزين الثمار بمقدار ٢-٣ أضعاف مقارنة بالطماطم العادية. ويتوقف تأثير الجين على جودة الثمار على الخلفية الوراثية للصنف، فقد يكون إيجابى أو سلبى على خصائص الطعم (Seroczynska & Niemirowicz-Szczytt ١٩٩٨).

وبالمقارنة.. فإن ثمار الهجن +/nor/+ rin تكتسب لونًا أحمر باهتًا إذا تركت لتكمل نضجها على النبات. وتبقى هذه الثمار محتفظة بجودتها لمدة ٣-٤ أسابيع بعد الحصاد فى درجة حرارة الغرفة، ثم تبدأ البذور - بعد ذلك - فى الإنبات داخل الثمرة. أما إذا قُطفت الثمار فى مرحلة النضج الأخضر.. فإنها لا تكتسب أكثر من اللون البرتقالى المصفر بعد الحصاد.

وقد جرت محاولات لتحسين تلوين ثمار السلالات nor بإضافة الطفرات الأخرى المحسنة للون إليها، وكانت النتائج كما يلى:

١- تميزت ثمار النباتات ذات التركيب الوراثى nornor h_ph_p بصلابتها الشديدة، مع احتفاظها بجودتها لعدة شهور أثناء التخزين، وكان لون هذه الثمار أحمر فاتحًا من الخارج، وطبيعيًا من الداخل.

٢- تميزت ثمار النباتات ذات التركيب الوراثى nornor h_ph_p og^cog^c بصلابتها الشديدة، مع احتفاظها بجودتها لعدة شهور أثناء التخزين. وكان لون هذه الثمار طبيعيًا من الخارج، وأكثر احمرارًا من الثمار العادية من الداخل.

أما عن عدم استساغة طعم ثمار النباتات الأصيلة فى أى من الطفرتين rin، أو nor.. فيبدو أن مرده إلى خلوهما من بعض المركبات المتطايرة المسئولة عن النكهة المميزة للطماطم. فقد وجد McGlasson وآخرون (١٩٨٧) أن ثمار الطفرتين rin، و nor تخلوان من ١٥ مركبًا متطايرًا وجدت فى الثمار الطبيعية، وصنفت على أنها ذات

رائحة متوسطة إلى قوية واشتملت على: اثنين من الألدهيدات، وسبعة كحولات، واثنين من الكيتونات، وثلاثة مركبات كبريتية، ومركب فينولى واحد.

مقاومة طفرات النضج nor و rin للبوتريتس

ثبِّطت مستخلصات ثمار طفرات nor، و rin استطالة أنابيب إنبات جراثيم الفطر *Botrytis cinerea*، مقارنة بتأثير مستخلصات الثمار العادية. وقاومت الثمار الطفرية ذاتها الإصابة بالفطر؛ الأمر الذى تمثل فى إطالة فترة الحضانة التى لزمت لحدوث الإصابة، وانخفاض الإصابة أثناء التخزين. وظهر أعلى مستوى من المقاومة فى الطفرة nor وهجين الجيل الأول لها. ولقد أدت معاملة الثمار بحرارة صفرْ م لمدة ٣ أيام، أو بالماء الساخن على ٥٢ ْم لمدة ٥ دقائق — قبل عدواها بالفطر — إلى زيادة القابلية للإصابة فى الثمار العادية، وإلى كسر جزئى للمقاومة فى الثمار الطفرية (Lavy-Meir وآخرون ١٩٨٩).

طفرة "لا تنضج أبدًا" never ripe (Nr)

يتحكم الجين Nr فى هذه الطفرة التى تتميز بأن ثمارها لا تفقد صلابتها إلا ببطء شديد. وقد وجد Hobson (١٩٦٧) أن هذا الجين سائد جزئيًا، وأن النباتات الحاملة له تنضج ثمارها وتتلون ببطء، كما تفقد صلابتها ببطء كذلك. وتميزت الثمار الحاملة لهذا الجين بقلة ذوبان المواد البكتينية فيها، وضعف نشاط إنزيم الـ polygalacturonase بها.

مقارنة بين طفرات النضج rin، و nor، و Nr

تتضمن طفرات النضج كلاً من nor (وهى: non-ripening)، و rin (وهى: ripening inbibitor)، و Nr (وهى: Never ripe). تقع الطفرة nor على الكروموسوم ١٠، بينما تقع rin على الكروموسوم ٥ والطفرة Nr على الكروموسوم ٩. لا تُظهر ثمار الطفرتان nor، و rin كلايمكترك التنفس وإنتاج الإثيلين. وبالمقارنة فإن الطفرة Nr لا تثبط النضج بصورة تامة، وإنما تؤخر بداية تلك المرحلة. ويبلغ كلايمكترك التنفس

وإنتاج الإثيلين فيها ٥٠٪ فقط مما يحدث فى الثمار العادية، ولا يصل فيها التلوين — أبدًا — إلى مستوى التلوين فى الثمار الطبيعية (Terai ١٩٩٠، و Atta-Aly & El-Beltagy ١٩٩٢).

طفرة "ألكوباكو" Alcobaco (alc)

يتحكم فى هذه الطفرة الجين المتنحى alc وتتميز ثمار النباتات الأصيلة فى الطفرة بأنها تحتفظ بصلابتها لفترات طويلة بعد الحصاد، إلا أنها لا تكمل تلونها بصورة طبيعية.

ويتأثر اللون النهائى للثمرة بلونها عند حصادها كما يلى:

لون الثمرة عند الحصاد	اللون النهائى للثمرة فى المخزن
أخضر	أصفر
بداية التلوين	برتقالى
بعد بداية التلوين بأسبوعين	أحمر فاتح
أحمر (الثمار مكتملة النضج)	أحمر فاتح

وتكون الثمار الناضجة — طبيعيًّا — على النبات ذات لون وطعم مقبولين، وتحتفظ بجودتها عند التخزين لفترات طويلة. ولهذا الجين المتنحى تأثير متعدد فى تلون الثمار وصلابتها ونشاط الإنزيمات المحللة للمواد البكتينية بها، وهى الإنزيمات المسئولة عن زيادة ذوبان المواد البكتينية. هذا.. ويظهر فى الجيل الثانى للهجين alc/+ تدرجات فى اللون، يعتقد أنها ترجع إلى بعض الجينات المحورة (Kopeliovitch وآخرون ١٩٨١).

وتأييدًا لذلك.. وجد Lobo وآخرون (١٩٨٤) أن هذه الطفرة يتحكم فيها جين متنح يؤدى إلى بطء كل من التنفس وإنتاج الإثيلين، وتأخير فقد الثمار لصلابتها، ونقص نشاط إنزيم الـ polygalacturonase، وزيادة فترة تخزين الثمار. وقد توصل الباحثون من دراستهم إلى أن هذا الجين آليلى للجين nor، واقترحوا الرمز nor^A، علمًا بأنه —

أى nor^A – كان سائدًا على آليله nor. إلا أن Mutschler (١٩٨٤أ) توصلت من دراستها إلى أن الطفرة ألكوباكو والجين nor ليسا آليليين، ولكنهما مرتبطان ببعضيهما؛ حيث إن المسافة بينهما هى ١٧ وحدة عبور. وقد وجدت أن الجيل الأول الخليط فى كل من alc، و nor تتلون ثماره بعكس النباتات الأصيلة فى أى منهما، وهو سلوك يدل على أن الجينين غير آليليين، كما ظهرت نباتات انعزالية فى الجيل الثانى للتلقيح alc × nor، وهو ما يؤكد نفس الاستنتاج.

وقد أوضحت هذه الدراسة أن الجين alc يقع قرب نهاية الذراع القصيرة للكروموسوم رقم ١٠ على مسافة ٢٠ وحدة عبور من الجين u الخاص بالنضج المتجانس uniform ripening، وعلى نحو ١٤ وحدة عبور من الجين hy الخاص باللون الأصفر المتجانس homogenous yellow.

وفى دراسة على خصائص النضج والتخزين لثمار نباتات الطماطم الحاملة للطفرة ألكوباكو بحالة أصيلة أو خليطة.. وجد ما يلى:

١- أظهرت ثمار النباتات الخليطة فى الطفرة زيادة فى القدرة التخزينية مقدارها ٧٨٪ عما فى الصنف رتجرز.

٢- أظهرت الثمار المكتملة النضج للنباتات الأصيلة فى الطفرة زيادة فى القدرة التخزينية مقدارها ٣٠٠٪ عما فى الصنف رتجرز. كان متوسط فترة التخزين ٤٠ يومًا. هذا.. مع العلم بأن الزيادة فى القدرة التخزينية لم تكن مصاحبة بزيادة مبدئية (أى عند بداية التخزين) فى صلابة الثمار، وإنما كانت مصاحبة بنقص فى معدل فقد الثمار التامة النضج لصلابتها أثناء التخزين، مقارنة بمعدل النقص فى صلابة الثمار العادية.

٣- لم تؤثر الطفرة فى pH الثمار، أو نسبة المواد الصلبة الذائبة بها، أو على المدة من الإزهار لحين وصول الثمرة إلى مرحلة النضج الأخضر؛ إلاّ أن الطفرة أبطأت وصول الثمار – بعد ذلك – إلى مرحلة اكتمال النضج.

٤-توقفت درجة التلوين التى وصلت إليها الثمار أثناء التخزين على مرحلة النضج التى قطفت عندها؛ علمًا بأن مرحلة بداية التلوين كانت هى الحد الأدنى الذى يجب أن تقطف عنده الثمار؛ لكى تكمل نضجها بعد ذلك.

٥-قلّ إنتاج الإثيلين فى الثمار المقطوفة بمقدار ٢٥٪ عما فى الصنف رتجرز. وأثرت مرحلة نضج الثمار عند قطفها فى مدى إنتاجها للإثيلين بعد ذلك (Mutschler ١٩٨٤ ب).

هذا.. ولم تظهر تأثيرات ضارة للتركيب الوراثى الخليط فى الطفرة على لون الثمار أو صلابتها أو حجمها، إلاّ أن الخلفية الوراثية للنباتات الحاملة للجين كانت مؤثرة فى صفات جودة الثمار وقدرتها على التخزين (Mutschler وآخرون ١٩٩٢).

وقد تمكنت Mutschler (١٩٨٤) من إدخال الجين alc فى صنف الطماطم New Yorker، وأنتجت سلالة التربية Cornell 111 التى تميزت بكل صفات الصنف التجارى. غير أن ثمارها كانت أكثر صلابة وأبطأ نضجًا، وأبهت لونًا من الداخل بسبب هذا الجين. وقد توقف مدى تأثير الجين alc فى لون الثمار على الخلفية الوراثية للنبات الذى يوجد به هذا الجين؛ حيث تراوح اللون بين الردئ والمتوسط (كما فى Cornell 111) والطبيعى تقريبًا.

ولا تعرف وسيلة للتنبؤ بلون الثمار قبل إجراء التلقيحات، إلا أن الدراسة أوضحت أن هذا الجين يؤدى مع الجين المسئول عن الكتف الأخضر فى الثمار غير الناضجة إلى أن تصبح أكتاف الثمار صفراء زاهية عند النضج دون أن تكتسب لونًا أحمر. ولهذا اقتُرح إدخال الجين alc فى الأصناف التى تحتوى على الجين u المسئول عن لون الثمار الأخضر المتجانس، وخاصة أنه وجد ارتباط قدره ٢٠ وحدة عبور بين الجينين Alc، و U.

هذا.. ويمكن انتخاب النباتات الأصيلة فى الجين alc باختبار القدرة التخزينية لثمارها بعد أن تنضج طبيعيًا على النبات. كما يمكن تمييز النباتات الخليطة فى

الجين، لأن ثمارها تتحمل التخزين على درجة ٢٠°م لمدة تزيد بنحو ٥٠٪ على المدة التى تبقى خلالها الثمار العادية مخزنة بحالة جيدة. وإذا قطفت ثمار النباتات الأصيلة فى الطفرة — وهى خضراء ناضجة — فإنها لا تتلون أبدًا بصورة طبيعية، حيث لا يزيد تلوينها عن اللون البرتقالى المصفر. وبرغم أنه يمكن الاستفادة من هذه الخاصية فى انتخاب النباتات المتنحية الأصيلة مبكرًا.. إلا أنه لا ينصح باتباع هذه الطريقة؛ لأنها لا تسمح بانتخاب التراكيب الوراثية التى يكون لون ثمارها الداخلى جيدًا.

إن الثمار الـ alcobaca تتميز بقدرتها العالية على التخزين، إلاّ إنها لا تتلون بشكل جيد كما أسلفنا. وفى محاولة لتحسين لونها بنقل الجينين og^c (وهو: crimson)، و hp (وهو: high pigment) إلى التركيب الوراثى الحامل للجين alc، وجد أن التراكيب الوراثية التالية مثّلت حلاً وسطًا جيدًا للجمع بين المحصول، والصلاحية للتخزين، وصفات جودة الثمار (de Araújo وآخرون ٢٠٠٢):

$alc^+/alc\ og^{c+}/og^c\ hp^+/hp$

$alc^+/alc\ og^c/og^c\ hp^+/hp^+$

$alc^+/alc\ og^{c+}/og^{c+}\ hp^+/hp$

طفرة "النضج الأخضر" Green Ripe (Gr)

يتحكم فى هذه الطفرة الجين السائد Gr الذى جاء ذكره لأول مرة فى عام ١٩٥٢. وهو جين يؤدى إلى عدم تحلل الكلوروفيل فى الثمار الناضجة. وقد عزلت الطفرة من كيميرا ثمرية ظهرت فيها مقاطع خضراء وأخرى حمراء. وليست هذه الطفرة آليلية لأى من الجينات rin، أو nor، أو Nr.

وقد وجد Jarret وآخرون (١٩٨٤) أن ثمار النباتات الحاملة لهذا الجين يظهر بها الكلايمكترك، وتنتج كميات متزايدة من الإثيلين بعد الحصاد، ولكن مع تأخر كبير؛ حيث يبلغ أقصى إنتاج للإثيلين بعد بداية الزيادة بنحو ٢٠ يومًا. كذلك.. فإن نشاط

إنزيم الـ Polygalacturonase يزيد مع تقدم الثمار فى العمر، إلا أنه لا يصل إلى أكثر من ٣٪–٥٪ من نشاط الإنزيم فى الصنف رتجرز؛ وعليه.. فإن الثمار الحاملة لهذا الجين تظل صلبة لفترة طويلة بعد الحصاد. وقد تبين أن تأثير الجين على كل من معدل إنتاج الإثيلين ونشاط الإنزيم سائد سيادة تامة.

التحويل الوراثى لزيادة القدرة التخزينية

استخدمت أساليب الهندسة الوراثية فى زيادة القدرة التخزينية لثمار الطماطم، وذلك بتحويلها وراثيًّا بجينات تُبطئ من فقدها لصلابتها ومن حدوث التغيرات الفسيولوجية التى تُسهم فى ضعف قدرتها التخزينية.

يُعرف ما لا يقل عن ٢٥ جينًا يظهر تأثيرها أثناء نضج الثمار وتم عزلها (cloned)، وتبين أن غالبيتها — بما فى ذلك الـ polygalacturonase الذى يُحوِّر قوام الثمرة — متخصصة فى النضج. كذلك أمكن عزل جينات للـ ACC synthase، والـ ACC oxidase اللذان يتحكمان فى تمثيل الإثيلين الذى يلعب دورًا حاسمًا فى النضج. ولقد أمكن تثبيط نشاط كلاً من الـ polygalacturonase، والـ pectinesterase، والـ ACC synthase، والـ ACC oxidase، والـ phytoene synthase فى نباتات طماطم محولة وراثيًّا باستعمال تكنولوجيا الشفرة المضادة. كذلك أمكن تثبيط التعبير عن عدة جينات بتثبيط الـ sense genes. وقد أظهرت الشفرة المضادة ذات النشاط المنخفض للإنزيم polygalacturonase تحسنًا فى قوام الثمرة. كذلك أظهرت الثمار ذات الشفرة المضادة لكل من الـ ACC synthase والـ ACC oxidase بُطئًا فى النضج وفى تغيرات بعد النضج. وأظهرت نباتات الشفرة المضادة فى الـ ACC oxidase تأخيرًا — كذلك — فى شيخوخة الأوراق (Grierson & Fray ١٩٩٤).

التحويل بالشفرة المضادة لكل من الإنزيمين PG، و PE

أمكن تحويل الطماطم وراثيًّا بالشفرة المضادة لكل من الإنزيمين polygalacturonase

(اختصارًا: PG)، و pectinestrase (اختصارًا: PE). أدى التحويل الأول إلى غياب إنزيم الـ PG فى الثمار الخضراء، ولكن تمثيله لم يتوقف أثناء النضج، حيث أمكن التعرف على ما لا يقل عن ثلاثة طرز من الـ isoenzymes لهذا الإنزيم، إلاّ أن نشاطها كان ضعيفًا، الأمر الذى ترتب عليه تحسن فى قابلية الثمار للتخزين وفى تحملها للشحن. أما التحويل الوراثى الثانى بالشفرة المضادة للـ PE فلم يكن له تأثير ملموس على فسيولوجى الثمار (Tucker وآخرون ١٩٩٢).

وقد انخفض نشاط إنزيم الـ polygalacturonase بأكثر من ٩٩٪ فى ثمار النباتات المحولة وراثيًّا لخفض نشاط الإنزيم، وأظهرت تلك الثمار بطئًا فى فقدها لصلابتها أثناء التخزين، وزيادات فى كل من لزوجة العصير وكمية العصير والمعجون، مقارنة بالوضع فى الثمار غير المحولة وراثيًّا. كذلك ازدادت فى الثمار المحولة وراثيًّا المقاومة للفطرين *Geotrichum candidum*، و *Rhizopus stolonifer* اللذان يصيبا الثمار — عادة — أثناء نضجها (Schuch وآخرون ١٩٩١، و Kramer وآخرون ١٩٩٢).

ولقد أُنتج صنف الطماطم FLAVR SAVR المحول وراثيًّا بالشفرة المضادة للـ RNA؛ لأجل تنظيم التعبير عن جين الـ polygalacturase فى الثمار أثناء نضجها. يُعد هذا الإنزيم أحد أكثر البروتينات تواجدًا فى ثمار الطماطم الناضجة، والذى يُعد مسئولاً عن فقد الثمار الناضجة لصلابتها. ويعد هذا الصنف أول غذاء كامل حُوِّل وراثيًّا وعُرِض للبيع تجاريًّا (Kramer & Redenbaugh ١٩٩٤).

وأظهرت نتائج تسع تجارب حقلية عدم اختلاف FLAVR SAVR عن أصناف أخرى من الطماطم فى أى من صفات النمو والصفات البستانية أو القيمة الغذائية أو صفات الجودة للتصنيع، وكان الاختلاف الوحيد فى الصفات التى تتعلق بالبكتين، وفى تواجد جين المقاومة للكاناميسين ومُنتَجهُ (Redenbaugh & Hiatt ١٩٩٣). وقد حُصِلَ على نتائج مماثلة لِما سبق فى طماطم أخرى حُوِّلت وراثيًّا بخفض مستوى نشاط إنزيم البولى جالاكتيرونيز بها، ولا يُشكل استهلاكها أى خطورة على صحة الإنسان (Poole ١٩٩٣).

التحويل بالشفرة المضادة للإنزيم PME

أظهرت ثمار الطماطم المحولة وراثيًا بالشفرة المضادة لجين الإنزيم pectin methyl estrase (اختصارًا: PME) انخفاضًا فى نشاط الإنزيم مع تحسن فى صفات الجودة تمثل فى زيادات (مقارنة بالثمار العادية) قدرت بنحو ٥,١٪ فى كمية العصير المستخلصة منها، و ٥,٣٪ فى محتوى المواد الصلبة الكلية، و ٣,٨٪-٦,١٪ فى محتوى المواد الصلبة الذائبة، و٧٠٪ - ٨٠٪ فى اللزوجة المتدفقة efflux viscosity، ١٨٠٪ - ٢٢٠٪ فى لزوجة السيرم serum viscosity. وكانت صفات جودة الكاتشب المجهز من الثمار المحولة وراثيًا أفضل منها فى الكاتشب المجهز من الثمار العادية. هذا.. ولم يكن لتوقيت الحصاد أهمية فى صفات جودة العصير (Thakur وآخرون ١٩٩٦).

التحويل بالشفرة المضادة للإنزيم ACC synthase

أدى تحويل الطماطم وراثيًا بالشفرة المضادة للإنزيم ACC synthase إلى تثبيط نضج الثمار، وأدت معاملة تلك الثمار بالإثيلين أو بالبروبلين إلى إعكاس التأثير المثبط للتحويل الوراثى (Oeller وآخرون ١٩٩١).

التحويل بالشفرة المضادة للإنزيم ACC oxidase

بينما نجد أن الصلابة العالية لسلالات الطماطم الحاملة للجين rin أو nor مردها — جزئيًا — إلى انخفاض نشاط إنزيم الـ polygalacuronase فيها، فإن سلالات الطماطم المحولة وراثيًا بالشفرة المضادة للإنزيم ACC-oxidase — المسئول عن تمثيل الإثيلين — يحدث فيها تثبيط لتكوين الصبغات اللونية على الرغم من عدم حدوث تثبيط فيها لطراوة الثمار أثناء نضجها. ولم يؤثر الانخفاض الشديد فى إنتاج الإثيلين فى فقد الثمار لصلابتها أو فى مستوى إنزيم الـ polygalacturonase، لكنه ساعد فى تحسين بقاء الثمار صالحة للاستهلاك (Hobson & Murray ١٩٩٤).

التحويل بالجين ACC deaminase

أمكن تحويل الطماطم وراثيًّا بالجين ACC demainase، الذى حُصِلَ عليه من أحد الأنواع البكتيرية التى تعيش فى التربة. تميزت ثمار النباتات التى حُوِّلت وراثيًّا بهذا الجين بانخفاض إنتاجها من الإثيلين، مع تأخير فى نضجها وبقائها صلبة لمدة تزيد بما لا يقل عن ستة أسابيع عن نظيراتها غير المحولة وراثيًّا (Klee وآخرون ١٩٩١).

التحويل بجين الـ expansin

يعمل جين الـ expansin (وهو: LeExp1) على إنتاج الـ expansins، وهى بروتينات تسبب تفكيك الجدر الخلوية، وقد أدى تثبيط عمل هذا الجين إلى إنتاج ثمار أكثر صلابة خلال جميع مراحل النضج، وأكثر قدرة على التخزين على ١٣°م، حيث ازدادت فترة صلاحيتها للتخزين بنحو ٥–١٠ أيام. كذلك ازدادت لزوجة عصير الثمار المحولة وراثيًّا بمقدار ١٩٪ عما فى الثمار العادية، وذلك دون أن يؤثر التحويل الوراثى على حجم الثمار أو أعدادها (Brummell وآخرون ٢٠٠٢).

مصادر الكتاب

Adalid, A. M., S. Roselló, M. Valcárcel, and F. Nuez. 2012. Analysis of the genetic control of β-carotene and L-ascorbic acid accumulation in an orange-brownish wild cherry tomato accession. Euphytica 184: 251-263.

Akhtar, M. S. et al. 1999. Altered patterns of senescence and ripening in gf, a stay-green mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Exp. Bot. 50 (336): 1115-1122.

Alba, R., M. M. Cordonnier-Pratt, L. H. Pratt, C. J. Valenzano, and S. J. Kays. 1999. Genetic manipulation of phytochromes in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.): a novel approach to crop improvement. Acta Hort. No. 487: 93-98.

Al-Falluji, R. A., D. H. Trinklein, and V. N. Lambeth. 1982. Inheritance of pericarp firmness in tomato by generation mean analysis. HortScience 17: 763-764.

Alpert, K. B., S. Grandillo, and S. D. Tanksley. 1995. fw2.2: a major QTL controlling fruit weight is common to both red- and green-fruited species. Theor. Appl. Gen. 91 (6/7): 994-1000.

Andrade, T. M. et al. 2015. Interaction of the mutant genes B, og^c, hp and t in the coloring of tomato fruit. Euphytica 205 (3): 773-783.

Apel, W. and R. Bock. 2009. Enhancement of carotenoid biosynthesis in transplastomic tomatoes by induced lycopene-to-provitamin A conversion. Plant Physiol. 151: 59-66.

Armstrong, R. J. and A. E. Thompson. 1969. A rapid and accurate system for scoring tomato fruit cracking. Hort-Science 4: 288-290.

Atta-Aly, M. A. and A. S. El-Beltagy. 1992. Effect of cationic chelator EDTA on the ripening of normal tomato fruit and the non-ripening mutants nor, rin and Nr. Postharvest Biol. Technol. 1: 283-293.

Avdeyev, Y. I. and L. M. Ivanova. 2000. The genetic control of the tomato resistance to fruit skin cracking. Acta Hort. No. 522: 45-50.

Bai, Y. and P. Lindhout. 2007. Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. Ann. Bot. The Internet.

Baker, L. R. 1975. Genetic manipulation to improve nutritional quality of vegetables, pp. 19-32. In: R. S. Harris and E. Karmas (eds.). Nutritional evaluation of food processing. The Avi Pub. Co., Inc., Westport. Connecticut.

Barg, R., S. Shabtai, and Y. Salts. 2001. Transgenic tomato (*Lycopersicon esculentum*), pp. 212-233. In: Y. P. S. Bajaj (ed.). Biotechnology in Agriculture and Forestry. Vol. 47. Transgenic Crops II. Springer-Verlag, Berlin.

Barten, J. H. M., J. W. Scott, and R. G. Gardner. 1992. The identification of three new blossom-end morphology genes: n-2, n-3, and n-4. Tomato Genetics Coperative Rep. No. 42: 9.

Barten, J. H. M., Y. El-Kind, J. W. Scott, S. Vidavski, and N. Kedar. 1993. Diallel analysis over two environinents for blossom-end scar size in tomato. Euphytica 65: 229-237.

Barten, J. H. M., J. W. Scott, and G.R. Gardner 1994. Characterization of blossom-end morphology genes in tomato and their usefulness in breeding for smooth blossom-end scars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 119 (4): 798-803.

Batal, K. M., J. L. Weigle, and N. R. Lersten. 1972. Exogenous growth egulator effect on tomato fruit cracking and pericarp morphology. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 529-531.

Beckles, D. M. 2012. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. Postharvest Biol. Technol. 63: 129-140.

Boches, P., B. Peterschmidt, and J. R. Myers. 2011. Evaluation of a subset of the *solanum lycopersicon* var. *cerasforme* core collection for horticultural quality and fruit phenolic content. HortScience 46 (11): 1450-1455.

Boswell, V. R. 1937. Improvement and genetics of tomatoes, pepper, and eggplant, pp. 176-206. In: United States Department of Agriculture. 1937 yearbook of agriculture: better plants and animals II. Washington, D. C.

Botts, B. 2008. Thrill of the new: from a black tomato to a hardy rose here's what to look for this year. The Internet.

Brewer, M. T., J. B. Moyseenko, A. J. Monforte, and E. van der Knaap. Morphological variation in tomato: a comprehensive study of quantitative trait loci controlling fruit shape and development. J. Exp. Bot. 58 (6): 1139-1349.

Brummell, D. A., W. J. Howie, C. Ma, and P. Dunsmuir. 2002. Postharvest fruit quality of transgenic tomatoes suppressed in expression of a ripening-related expansin. Postharvest Biol. Technol. 25: 209-220.

Buescher, R. W., C. Hardy, and E. C. Tigchelaar. 1981. Postharvest color development in nor F1 tomato hybrids as influenced by maturity state at harvest. HortScience 16: 329-330.

Buiatti, M. and R. Morpurgo. 1990. Somclonal variation in tomato, pp. 400-415. In: Y. P. S. Bajaj (ed.). Biotechnology in agriculture and forestry. Vol. 11. Somaclonal variation in crop improvement I. Springer-Verlag, Berlin.

Carli, P. et al. 2009. Use of network analysis to capture key traits affecting tomato organoleptic quality. J. Exp. Bot. 60 (12): 3379-3386.

Chetelat, R. T., E. Klann, J. W. DeVerna, S. Yelle, and A. B. Bennett. 1993. Inheritance and genetic mapping of fruit sucrose accumulation in *Lycopersicon chmielewskii*. Plant . J. 4 (4): 643-650.

Chetelat, R. T., J. W. DeVerna, E. Klann, and A. B. Bennett. 1993. Sucrose accumulator (sucr), a gene controlling sugar composition in fruit of *L. chmielewskii* and *L. hirsutum*. Tomato Gen. Coop. Rep. No. 43: 14-16.

Chetelat, R. T., J. W. DeVerna, and A. B. Bennett 1995a. Introgression into tomato (*Lycopersicon esculentum*) of the *L. chmielewskii* sucrose accumulator gene (sucr) controlling fruit sugar composition. Theor. Appl. Gen. 91 (2): 327-333.

Chetelat, R. T., J. W. DeVerna, and A. B. Bennett. 1995b. Effect of *Lycopersicon chmielewskii* sucrose accumulator gene (sucr) on fruit yield and quality parameters following introgression into tomato. Theor. Appl. Gen. 91 (2): 334-339.

Cheung, A. Y., T. McNellis, and B. Piekos. 1993. Maintenance of chloroplast components during chromoplast differentiation in the tomato mutant green flesh. Plant Physiol. 101: 1223-1229.

Chu, M. C. Y. and A. E. Thompson. 1972. Morphology and genetics of fleshy calyx and their relation to crack resistance in tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 197-203.

Conti, S., M. C. Sanguineti, B. Toni and A. Azzoni. 1988. Inheritance of quality traits in processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). Euphytica 37: 121-127.

Cotner, S. D., E. E. Bums, and P. W. Leeper. 1969. Pericarp anatomy of crack–resistant and susceptible tomato fruits. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 135-137.

Cuartero, J. and J. I. Cubero. 1982. Phentotypic, genotypic and environmental correlation in tomato (*Lycopersicon esculentum*). Euphytica 31: 151-159.

Da Costa, J. H., G. R. Rodriguez, G. R. Pratta, L. A. Picardi, and R. Zorzoli. 2013. QTL detection for fruit shelf life and quality traits across segregating populations of tomato. Sci. Hort. 156: 47-53.

Davidovich-Rikanati, R. et al. 2007. Enrichment of tomato flavor by diversion of the early plastidial terpenoid pathway. Nature Biotechnology, online publication 24 June 2007. The Internet.

De Araújo, M. L., W. R. Maluf, L. A. A. Gomes, and A. C. B. Oliveira. 2002. Intra and interlocus interactions between alcobaca (alc), crimson (og^c), and high pigment (hp) loci in tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. Euphytica 125: 215-226.

Dessalegne, L., A. C. Wetten, and P. D. S. Caligari. 1997. Production of transgenic tomatoes expressing oxalate oxidase. Acta Hort. No. 447: 457-458.

Dolle, S. et al. 2011. Tomato allergy: impact of genotype and environmental factors on the biological response. J. Sci. Food Agr. 91: 2234-2240.

Ehert, D. L. et al. 2012. Fruit cuticular and agronomic characteristics of a lecero6 mutant of tomato. J. Hort. Sci. Biotechnol. 87 (6): 619-625.

Egashira, H. et al. 1999. Genetic analysis of sucrose-accumulating ability in *Lycopersicon peruvianum*. Breeding Science 49 (3): 155-159.

Elkind, Y., O. Bar-Oz Galper, S. Vidavski, J. W. Scott, and N. Kedar. 1990. Genetic variation and heritability of blossom-end scar in tomato. Euphytica 50 (3): 241-248.

Emmons, C. L. W. and J. W. Scott. 1998a. Diallel analysis of resistance to cuticle cracking in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 123 (1): 67-72.

Emmons, C. L. W. and J. W. Scott. 1998b. Ultrastructural and anatomical factors associated with resistance to cuticle cracking in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Inter. J. Plant Sci. 159 (1): 14-22.

Frary, A., T. C. Nesbitt, A. Frary, S. Grandillo, E. van der Knaap, Cong Bin, J. P. Liu, J. Meller, R. Elber, K. B. Albert, and S. D. Tanksley. 2000. fw2.2: a quantitative trait locus key to the evolution of tomato fruit size. Science (Washington) 289 (5476): 85-88.

Fraser, P. D., P. Bramley, and G. B. Seymour. 2001. Effect of the Cnr mutation on carotenoid formation during tomato fruit ripening. Phytochemistry 58 (1): 75-79.

Fulton, T. M. et al. 2002. Quantitative trait loci (QTL) affecting sugars, organic acids and other biochemical properties possibly contributing to flavor, identified in four advanced backcross populations of tomato. Euphytica 127: 163-177.

Galpaz, N., Q. Wang, N. Menda, D. Zamir, and J. Hirschberg. 2008. Abscisic acid deficiency in the tomato mutant high-pigment 3 leading to increased plastid number and higher lycopene content. The Plant J. 53 (5): 717-730.

Garg, N., D. S. Cheema, and A. S. Dhatt. 2008. Genetics of yield, quality and shelf life characteristics in tomato under normal and late planting conditions. Euphytica 159 (1-2): 275-288.

Georgelis, N., J. W. Scott, and E. A. Baldwin. 2004. Relationship of tomato fruit sugar concentration with physical and chemical traits and linkage of RAPD markers. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (6): 839-845.

Georgelis, N., J. W. Scott, and E. A. Baldwin. 2006. Inheritance of high sugars from tomato accession PI 270248 and environmental variation between seasons. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 131 (1): 41-45.

Giovannoni, J. et al. 1999. Genetic mapping of ripening and ethylene-related loci in tomato. Theo. Appl. Gen. 98 (6/7): 1005-1013.

Gonzali, S., A. Mazzucato, and P. Perata. 2009. Purple as a tomato: towards high anthocynain tomatoes. Trends in Plant Science 14 (5): 237-241.

Gould, W. A. 1974. Tomato production, processing, and quality evaluation. The AVI Pub. Co., Inc., Westport, Conn. 445 p.

Grandillo, S., D. Zamir, and S. D. Tanksley 1999. Genetic improvement of processing tomatoes: a 20 years perspective. Euphytica 110: 85-97.

Green, G. Y. et al. 2016. Single and joint effect of the basal region of chromosome 2 and centromeric region of chromosome 8 on morphological and fruit quality traits in tomato. Eyphytica 210 (3): 327-339.

Greenleaf, W. H. and F. Adams. 1969. Genetic control of blossom end rot disease in tomatoes through calcium metabolism. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 248-250.

Grierson, D. and R. Fray. 1994. Control of ripening in transgenic tomatoes. Euphytica 79: 251-263.

Gupta, S. K. 2000. Plant breeding: theory and techniques. Agrobios (India). 387 p.

Gur, A., S. Csorio, E. Fridman, A. R. Fernie, and D. Zamir. 2010. hi2-1, a QTL which improves harvest index, earliness and alter metabolite accumulation of processing tomatoes. Theor. Appl. Genet. 121: 1587-1599.

Hanson, P. M. et al. 2004. Variation for antioxidant activity and antioxidants in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 129 (5): 704-711.

Hanson, P. et al. 2014. Characterization and mapping of a QTL derived from *Solanum habrochaites* associated with elevated rutin content (Quercetin-3-rutinoside) in tomato. Euphytica 200 (3): 441-454.

Harada, S., S. Fukuta, H. Tanaka, Y. Ishiguro, and T. Sato. 1995. Genetic analysis of the trait of sucrose accumulation in tomato fruit using molecular markers. Breeding Sci. 45 (4): 429-434.

Hassan, A. A., M. A. Abdel-Fattah, and K. E. Abdel-Ati. 1987. Inheritance of total soluble solids and ascorbic acid content in tomato. Egypt. J. Hort. 14: 155-160.

Heisey, B. 2015. Inheritance of fruit length in tomato; implications for a saladette breeding program. Tomato Gen. Coop. Rep. No. 65: 5-7.

Hewitt, J. D., N. S. Blaker, S. E. Damon, and A. B. Bennett. 1987. The UCD processing tomato breeding program. Acta Hort. No. 200: 83-90.

Higashide, T., K. Yasuba, K. Suzuki, A. Nakano, and H. Ohmori. 2012. Yield of Japanese tomato cultivars has been hampered by a breeding focus on flavor. HortScience 47 (10): 1408-1411.

Hobson, G. E. 1967. The effects of alleles at The "never ripe" iocus on The ripening of tomato fruit. Phytochemistry 6: 1337-1341.

Hobson, G. E. and A. J. Murray. 1994. From producer to pantry – using biotechnology to preserve crop quality. Aspects of Applied Biology No. 39: 95-102.

Husain, S. E., C. James, R. Shields, and C. H. Foyer. 2001. Manipulation of fruit sugar composition but not content in *Lycopersicon esculentum* fruit by introgression of an acid invertase gene from *Lycopersicon pimpinellifolium*. New Phytologist 150 (1): 65-72.

Ibarbia, E. A. and V. N. Lambeth. 1969. Inheritance of soluble solids in a large/small-fruited tomato cross. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 94: 496-498.

Ibridge. 2009. Innovation: High lycopene tomatoes. The internet.

Ikeda, H. et al. 2013. Analysis of a tomato introgression line, IL8-3, with increased Brix content. Sci. Hort. 153: 103-108.

Illa-Berenguer, E., J. van Houten, Z. Huang, and E. van der Knaap. 2015. Rapid and reliable identification of tomato fruit weight and locule number loci by QTL-seq. Theo. App. Gen. 128 (7): 1329-1342.

Inai, S., E. Ichihashi, H. Sayama, and E. Ishimura 2006. Practical use of QTLs associated with yield and fruit quality in tomato. Acta Hort. No. 724: 45-50.

Janoria, M. P. and A. M. Rhodes. 1974. Juice viscosity as related to various juice constituents and fruit characters in tomato. Euphytica 23: 553-562.

Janoria, M. P., A. E. Thompson, and A. M. Rhodes. 1975. Inheritance and evaluation of alcohol insoluble solids of tomatoes as a secondary character in selection for juice viscosity. J. Amer. Soc. Hort. Soc. 100: 219-221.

Jarret, R. L., E. C. Tighelaar and A. K. Handa. 1984. Ripening behavior of the green ripe tomato mutant. J. Amer Soc. Hort. Sci. 190: 712-717.

Jarret, R. L., H. Sayama, and E. C. Tigchelaar. 1984. Pleiotropic effects associated with the chlorophyll intensifier mutations high pigment and dark green in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 190: 873-877.

Jones, R. A. and S. J. Scott. 1983. Improvement of tomato flavor by genetically increasing sugar and acid contents. Euphytica 32: 845-855.

Jones, R. A. and S. J. Scott. 1984. Genetic potential to improve tomato flavor in commercial F1 hybrids. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 318-321.

Kalloo. 1988. Vegetable breeding. Vol.II. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida. 213 p.

Kalloo, G. 1993. Tomato *Lycopersicon esculentum* Miller, pp. 645-666. In: G. Kalloo and B. O. Bergh (eds). Genetic improvement of vegetable crops. Pergamon Press, Oxford.

Kavitha, P. et al. 2014. Genotypic variability for antioxidant and quality parameters among tomato cultivars, hybrids, cherry tomatoes and wild species. J. Sci. Food Agr. 94 (5): 993-999.

Kemble, J. M. and R. G. Gardner. 1992. Inheritance of shortened fruit maturation in the cherry tomato Cornell 871213-1 and its relation to fruit size and other components of earliness. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 117 (4): 646-650.

King, S. R., A. R. Davis, X. Zhang, and K. Crosby 2010. Genetics, breeding and selection of rootstocks for solanaceae and cucurbitaceae. Sci. Hort. 127: 106-111.

Kinkade, M. P. and M. R. Foolad. 2013. Validation and fine mapping of lyc 12.1, a QTL for increased tomato fruit lycopene content. Theoretical and Applied Genetics 126 (8): 2163-2175.

Kopeliovitch, E., H. D. Rabinowitch, Y. Mizrahi, and N. Kedar. 1981. Mode of inheritance of Alcobaca, a tomato fruit-ripening mutant. Euphytica 30: 223-225.

Kopeliovitch, E., Y. Mizrahi, H. D. Rabinowitch, and N. Kedar. 1982. Effect of the fruit-ripening mutant genes rin and nor on the flavor of tomato fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 107: 361-362.

Kramer, M. G. and K. Redenbaugh. 1994. Commercialization of tomato with an antisense polygalacturonase gene: the FAVR SAVR tomato story. Euphytica 79 (3): 293-297.

Kramer, M. et al. 1992. Postharvest evaluation of transgenic tomatoes with reduced levels of polygalacturonase: processing, firmness and disease resistance. Postharvest Biol. Technol. 1 (3): 241-255.

Krieger, U., Z. B. Lippman, and D. Zamir. 2010. The flowering gene single flower truss drives heterosis for yield in tomato. Nature Genetics. (Letter to editors).

Ku, H. M., S. Doganlar, K. Y. Chen, and S. D. Tanksley 1999. The genetic basis of pear-shaped tomato fruit. Theor. Appl. Gen. 99 (5): 844-850.

Labate, J. A. et al. 2007. Tomato, pp.1-125. In: C. Kole (ed.). Genome mapping and molecular breeding in plants. Vol. 5. Vegetables. Springer-Verlag, Berlin.

Lee, C. Y. and R. W. Robinson. 1980. Influence of the crimson gene (og^c) on vitamin A content of tomato. HortScience 15: 260-261.

Lee, N., Y. Uchida, K. Nemoto, Y. Mine, and N. Sugiyama. 2015. Quantitative trait loci analysis of lateral shoot growth in tomato. Sci. Hort. 192: 117-124.

Leiva-Brondo, M. L., M. Valcárcel, C. Cortés-Olmos, S. Roselló, J. Cebolla-Cornejo, and F. Nuez. 2012. Exploring alternative germplasm for the development of stable high vitamin C content in tomato varieties. Sci. Hort. 133: 84-88.

Lewinsohn, E. et al. 2001. Enhanced levels of the aroma and flavor compound S-linalool by metabolic engineering of the terpenoid pathway in tomato fruits. Plant Physiol. 127 (3): 1256-1265.

Li, J. et al. 2012. Tomato SIDREB gene restricts leaf expansion and internode elongation by downregulating key genes for gibberellins biosynthesis. J. Exp. Bot. 63 (18): 6407-6420.

Lindhout, P. et al. 1994. Perespectives of molecular marker assisted breeding for earliness in tomato. Euphytica 79: 279-286.

Lippman, Z. and S. D. Tanksley. 2001. Dissecting the genetic pathway to extreme fruit size in tomato using a cross between the small-fruited wild species *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* var. Giant Heirloom. Genetics 158 (1): 413-422.

Lobo, M., M. J. Bassett and L. C. Hannath. 1984. Inheritance and characterization of the fruit ripening mutation in "Alcobaca" tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 741-745.

Lorin, J. F. 2008. Quest for perfect tomato stretches from N. J. to Israel. The Internet.

Lower, R. L. and A. E. Thompson. 1967. Inheritance of acidity and soluble solids content of small-fruited tomatoes. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91: 486-494.

Machado, V. S., S. C. Phatak, and I. L. Nonnecke. 1982. Inheritance of tolerance of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) to metribuzin herbicide. Euphytica 31: 129-138.

Malis-Arad, S., S. Didi, Y. Mizrahi, and E. Kopeliovitch. 1983. Pectic substauces changes in soft and firm tomato cultivars and in non-ripening mutants. J. Hort. Sci. 58: 111-116.

Matas, A. J , E. D. Cobb, D. J. Paolillo, Jr., and K. J. Niklas. 2004. Crack resistance in cherry tomato fruit correlates with cuticular membrane thickness. HortScience 39 (6): 1354-1358.

Mathieu, S. et al. 2009. Flavor compounds in tomato fruits: indentification of loci and potential pathways affecting volatile composition. J. Exp. Bot. 60 (1): 325-337.

Matsui, K., M. Ishii, M. Sasaki, H. D. Rabinowitch, and G. Ben-Olie. 2007. Identification of an allele attributable to formation of cucumber-like flavor in wild tomato species (*Solanum pennellii*) that was inactivated during domestication. J. Agr. Food Chem. 55 (10): 4080-4086.

Matthews, R. F., P. Crill, and D. S. Burgis. 1973. Ascorbic acid content of tomato varieties. Proc. Fla State Hort. Soc. 86: 242-245.

McGlasson, W. B., J. H. Last, K. J. Shaw, and S. K. Meldrum. 1987. Influence of the non-ripening mutants rin and nor on the aroma of tomato fruit. HortScience 22: 632-634.

Mes, P. J., P. Boches, and J. R. Myers. 2008. Characterization of tomatoes expressing anthocyanin in the fruit. J. Amer Soc. Hort. Sci. 133: 167-311.

Mochizuki, T. 1995. Studies on lines with high-pigment genes as high vitamin C and carotenoid sources in tomato breeding. (In Japanese with English summary). Bul. Nat. Res. Inst. Veg. Ornamental Plants Tea. Series A: Veg. Ornamental Plants No. 10: 55-139. c.a. Plant Breeding Abst. 66: Abst. 1866; 1996.

Monforte, A. J. and S. D. Tanksley. 2000. Fine mapping of a quantitative trait locus (QTL) from *Lycopesicon hirsutum* chromosome 1 affecting fruit characteristics and agronomic traits: breaking linkage among QTLs affecting different traits and detection of heterosis for yield. Theor. Appl. Gen. 100 (3/4): 471-479.

Munger, H. M. 1979. The potential of breeding fruits and vegetables for human nutrition. HortSicience 14: 247-250.

Mutschler, M. A. 1984a. Inheritance and linkage of the "Alcobaco" ripening mutant in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 500-503.

Mutschler, M. A. 1984b. Ripening and storage characteristics of the "Alcobaco" ripening mutant in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109: 504-507.

Mutschler, M. A., D. W. Wolfe, E. D. Cobb, and K. S. Yourstone. 1992. Tomato fruit quality and shelf life in hybrids heterozygous for the alc ripening mutant. HortScience 27 (4): 352-355.

Nagimori, M. et al. 2005. Breeding of tomato with high L-ascorbic acid content by clonal selection. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 74 (1): 16-22.

Nakano, H., N. Kobayashi, K. Takahata, Y. Mine, and N. Sugiyama. 2016. Quantitative trait loci analysis of the time of floral initiation in tomato. Sci. Hort. 201: 199-210.

Nazeem, H. R. 1967. Inheritance of some economic characters in tomato. M. S. thesis, Ain Shams Univ. 177 p.

Nesbitt, T. C. and S. D. Tanksley. 2001. fw2.2 directly affects the size of developing tomato fruit number and photosynthate distribution. Plant Physiol. 127 (2): 575-583.

Ng, T. J. and E. C. Tigchelaar. 1977. Action of the non-ripening (nor) mutant on fruit ripening of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102 (4): 504-509.

Oeller, P. W., M. W. Lu, L. P. Taylor, D. A. Pike, and A. Thoelogis. 1991. Reversible inhibition of tomato fruit senescence by antisense RNA. Science (Washignton) 254 (5030): 437-439.

Opena, R. T. 1990. Genetic improvement of tomato. The Internet.

Ozminkowski, R. H., Jr., R. G. Gardner, R. H. Moll, and W. R. Henderson. 1990. Inheritance of prostrate growth habit in tomato. J. Amer. Soc. Hort.Sci. 115: 674-677.

Ozores-Hampton, M., P. A. Stansly, and E. McAvoy. 2013. Evaluation of round and roma-type tomato varieties and advanced breeding lines resistant to tomato yellow leaf curl virus in Florida. HortTechnology 23 (5): 689-698.

Palevitch, D. and N. Kedar. 1970. Resistance of tomato cultivars and progenies to fruit hollowness. Eyphytica 19: 253-260.

Pandita, M. L. and Wm. T. Andrew. 1967. A correlation between phosphorus content of leaf tissue and days to maturity in tomato and lettuce. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91: 544-549.

Panthee, D. R. et al. 2012. Magnitude of genotype x environment interactions affecting tomato fruit quality. HortScience 47 (6): 721-726.

Panthee, D. R., J. A. Labate, M. T. McGrath, A. P. Breska III, and L. D. Robertson. 2013. Genotype and environmental interaction for fruit quality traits in vintage tomato varieties. Euphytica 193 (2): 169-182.

Park, E. J., Z. Jeknić, T. H. H. Chen, and N. Murata. 2007. The codA transgene for glycinebetaine synthesis increases the size of flowers and fruits in tomato. Plant Biotechnology Journal 5 (3): 422-430.

Passam, H. C., I. C. Karapanos, P. J. Bebeli, and D. Savvas. 2007. A review of recent research on tomato nutrition, breeding and post-havest technology with reference to fruit quality. The Europ. J. Plant Sci. Biotechnol. 1 (1): 1-21.

Peterson, R. H. and H. G. Taber. 1987. Technique for vital staining of tomato pollen with fluoroscein diacetate. HortScience 22: 953.

Phatak, S. C. and C. A. Jaworski. 1985. UGA 1113MT and UGA 1160MT Metribuzin-tolerant tomato germplasm. HortScience 20: 1132.

Poole, N. J. 1993. Improved tomatoes produced by modification of polygalacturonase activity. Inter. J. Food Sci. Nutr. 44 (Supp.1): S11-S15.

Porter, D. R. 1960. Quality criteria and their evaluation in a breeding program for processing type tomatoes. In: Campbell Soup Company "Proceedings of Plant Science Seminar". pp. 137-150. Camden, N. J.

Powell, C. A. and P. J. Stoffella. 1995. Susceptibility of tomato cultivars to internal and external tomato irregular ripening. HortScience 30 (6): 1307.

Purseglove, J. W. 1974. Tropical crops: dicotyledons. The English Language Book Society, London. 719 p.

Radwan, A. A., A. A. Hassan, and N. M. Malash. 1979. Correlation studies on twenty-eight tomato geontypes evaluated in Giza. Fac. Agr., Ain Shams Univ. Res. Bul. 1062. 21p.

Radwan, A. A., A. A. Hassan, and N. M. Malash. 1979. Physiological studies on tomato fruit firmness, total soluble solids and vitamin C contents. Fac. Agr., Ain Shams Univ., Res Bul. No. 1063. 17 p.

Redenbaugh, K. and W. Hiatt. 1993. Field trials and risk evaluation of tomatoes genetically engineered for enhanced firmness and shelf life. Acta Hort. No. 336: 133-146.

Reynard, G. B. 1960. Breeding tomatoes for resistance to fruit cracking. In: Campbell Soup Company "Proccedings of Plant Science Seminar". pp. 93-110. Camden, N. J.

Rick, C. M. 1977. Conservation of tomato species germplasm. Calif. Agr. 31 (9): 32-33.

Rick, C. M. 1982. The potential of exotic germplasm for tomato improvement, pp. 1-28. In: I. K. Vasil, W. R. Scowcroft, and K. J. Frey (eds.). Plant improvement and somatic cell genetics. Academic Pr., N. Y.

Rick, C. M., J. W. Uhlig, and A. D. Jones. 1994. High ∝-tomatine content in ripe fruit of Andean *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*: developmental and genetic aspects. Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A. 91 (26): 12877-12881.

Rosati, C. et al. 2000. Metabolic engineering of ß-carotene and lycopene content in tomato fruit. Plant J. 24 (3): 413-419.

Roselló, S., L. Galiana-Balaguer, and F. Nuez. 2000. Sources of high soluble solid and vitamin C content from *Lycopersicon pimpinellifolium* are interesting in breeding for internal quality of fresh market tomato. Tomato Genetics Cooperative Report No. 50: 33-35.

Roselló, S., A. M. Adalid, J. Cebolla-Cornejo, and F. Nuez. 2011. Evaluation of the genotype, environment and their interaction on carotenoid and ascorbic acid accumulation in tomato germplasm. J. Sci. Food Agr. 91: 1014-1021.

Rousseaux, M. C. et al. 2005. QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. Theo. Appl. Gen. 111 (7): 1396-1408.

Ruiz, J. J. et al. 2005. Quantitative analysis of flavor volatiles detects differences among closely related traditional cultivars of tomato. J. Sci. Food Agr. 85: 54-60.

Saccardo, F., G. Ancora, and K. S. Ramulu. 1981. Transfer of useful charachters from *Lycopersicon peruvianum* to *L. esculentum*. In: J. Philouze (ed.) "Genetics and Breeding of Tomato", pp. 235-242. Institut National de la Recherche Agronomique, Versailles, France.

Sapir, M. et al. 2008. Molecular aspects of anthocyanin fruit tomato in relation to high pigment-1. J. Hered. 99 (3): 292-303.

Schreiber, G. et al. 2012. ANTHOCYANIN1 from *Solanium chilense* is more efficient in accumulating anthocyanin metabolites than its *Solanum lycopersicum* counterpart in association with ANTHOCYANIN FRUIT phenotype of tomato. Theor. Appl. Genet. 124: 295-307.

Schuch, W. et al. 1991. Fruit quality characteristics of transgenic tomato fruit with altelred polygalacturonase activity. HortScience 26 (12): 1517-1520.

Science and Technology News. 2010. Single gene dramatically boosts yield, sweetness in tomato hybrids. The Internet.

Scott, T. W. 2002. A breeder's prespective on the use of molecular techniques for improving fruit quality. HortScience 37 (3): 464-467.

Scott, J. W. 2008. Fresh market tomato breeding in the USA. Acta Hort. No. 789: 21-26.

Scott, J. W. and J. H. M. Barten. 1992, Inheritance of spider track incidence, a tomato fruit disorder. Proc. Fla. State Hort. Soc. 105: 349-352.

Seroczyńska, A. and K. Niemirowicz-Szczytt. 1998. Genetic analysis of selected tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) trials in crosses between cultivated lines and the nor mutant. J. Appl. Gen. 39 (3): 259-273.

Sestari, I. et al. 2014. Near-isogenic lines enhancing ascorbic acid, anthocyanin and carotenoid content in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Micro-Tom) as a tool to produce nutrient-rich fruits. Sci. Hort. 175: 111-120.

Sims, W. L. and R. W. Scheruerman. 1979. Mechanized growing and harvesting of fresh market tomatoes. Div. Agr. Sci., Univ. Calif, Leaflet No. 2815. 21 p.

Sims, W. L., M. P. Zobel, D. M. May, R. J. Mullen, and P. P. Osterli. 1979. Mechanized growing and harvesting of processing tomatoes. Div. Agr. Sci., Univ. Calif., Leaflet No. 2686. 31 p.

Smeets, L. and F. Garretsen. 1986. Inheritance of growth characters of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under low energy conditions. Euphytica 35: 877-884.

Stancheva, Y., V. Rodeva, and L. Stamova 1997. Multifor – a tomato line with super large inflorescences. Tomato Gen. Coop. Rep. No. 47: 33.

Stevens, M. A. 1970. Inheritauce and flavor contribution of 2-isobutylthiazole, mehyl salicylate and eugenol in tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sic. 95: 9-13.

Stevens, M. A. 1972. Citrate and malate concentrations in tomato fruit: genetic control and maturational effects. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 97: 655-658.

Stevens, M. A. 1973. The influence of multiple quality requirements on the plant breeder. HortScience 8: 110-112.

Stevens, M. A. 1976. Inheritance of viscosity potential in tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 152-155.

Stevens, M. A. 1979. Breeding tomatoes for processing. In: Asian Vegetable Resesarch and Development center "Proceedings of the 1 st International Symposium on Tropical Tomato, Oct. 23-27, 1978", pp. 201-213. Shanhua, Taiwan.

Stevens, M. A. 1986. The future of field crops. In: J. G. Atherton and J. Rudich (eds) "The Tomato Crop", pp. 559-579. Chapman and Hall, London.

Stevens, M. A. 1986a. inheritance of tomato fuit quality components. Plant Breeding Rev. 4: 273-311.

Stevens, M. A. and W. A. Frazier. 1967. Inherirtance of Oct-1-en-3-ol and Linalool in canned snap beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91: 274-285.

Stevens, M. A. and M. A. Long. 1971. Inheritance of malate in tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96: 120-121.

Stevens, M. A. and K. N. Paulson. 1976. Contribution of components of tomato fruit alchol-insoluble solids to genotypic variation in viscosity. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 101: 91-96.

Stevens, M. A. and C. M. Rick. 1986. Genetics and breeding. In: J. G. Atherton and J. Rudich (eds) "The Tomato Crop", pp. 35-109. Chapman and Hall, London.

Stevens, M. A. and J. Rudich. 1978. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield, and quality in the tomato. HortScience 13: 673-678.

Stevens, M. A., A. A. Kader, M. Albrigh-Holton, and M. Alagazi. 1977. Genotypic variation for flavor and composition in fresh market tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102: 680-689.

Stevens. M. A., A. A. Kader, and M. Albright. 1979. Potential for increasing tomato flavor via increased sugar and acid content. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104: 40-42.

Stommel, J. R. and K. G. Haynes. 1994. Inheritance of beta carotene in the wild tomato species *Lycopersicon cheesmanii*. J. Hered. 85 (5): 401-404.

Stommel, J. R., J. A. Abbott, T. A. Campbell, and D. Francis. 2005. Inheritance of elastic and viscoelastic components of tomato firmness derived from intra- and interspecific genetic backgrounds. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 130 (4): 598-604.

Terai, H. 1990. Regulation mechanism of ethylene production in normal 'Rutgers', and mutant nor and rin tomato fruit. J. Jap. Soc. Hort. Sci. 59 (1): 121-128.

Thakur, B. R., R. K. Singh, D. M. Tieman, and A. K. Handa. 1996. Tomato product quality from transgenic fruits with reduced pectin methylestrase. J. Food Sci. 61 (1): 85-87.

Thompson, A. E. 1965. A technique of selection for high acidity in the tomato. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 87: 404-411.

Thompson, A. E., M. L. Tomes. H. T. Erickson, E. V. Wann, and R. J. Armstrong. 1967. Inheritance of crimson fruit color in tomatoes. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 91: 495-504.

Thompson, K. A. et al. 2000. Cultivar, maturity, and heat treatment on lycopene content in tomatoes. J. Food Sci. 65 (5): 791-795.

Tigchelaar, E. C. 1986. Tomato breeding. In: M. J. Bassett (ed.) "Breeding Vegetable Crops", pp. 135-171. Avi Pub. Co., Inc., Westpot, Connecticut.

Tigchelaar, E. C. and M. L. Tomes. 1974. "Caro-Rich" tomato. HortScience 9: 82.

Top, O. et al. 2014. Exploration of three *Solanum* species for improvement of antioxidant traits in tomato. HortScience 49 (8): 1003-1009.

Tucker, G. A. et al. 1992. Use of antisense RNA technology to study pectin degradation in tomato fruit. N. Z. J. Crop Hort. Sci. 20 (2): 119-124.

University of California. 1982. Integrated pest management for tomatoes. State-wide integrated pest management project, Div. Agr. Sci. Pub. 3274. 104 p.

Uozumi, A. et al. 2012. Tolerance to salt stress and blossom-end rot in an introgression line, IL8-3, of tomato. Sci. Hort. 138: 1-6.

Van de Dijk, S. J. 1987. Inheritance of net photosynthesis, dark respiration, stomatal resisitance and related characters in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under low energy conditions. Euphytica 36: 193-203.

Van der Knaap, E. and S. D. Tanksley. 2001. Identification and characterization of a novel locus controlling early fruit development in tomato. Theoretical and Applied Genetics 103 (2/3): 353-358.

Van der Knaap, E., Z. B. Lippman, and S. D. Tanksley. 2002. Extremely elongated tomato fruit controlled by four quantitative trait loco with epistatic interactions. Theor. Appl. Gen. 104 (2/3): 241-247.

Voisey, P. W., L. H. Lyall, and M. Kloek. 1970. Tomato skin strength -its' measurement and relation to cracking. J. Amer. Soc. Hor. Sci. 95: 485-488.

Walter, J. M. 1967. Hereditary resistance to disease in tomato. Ann. Rev. Phytopathol. 5: 131-162.

Wang, F., J. F. Li, and G. Y. Li. 1995. A study on inheritance and correlation of fruit firmness in tomato. Acta Hort. No. 402: 253-258.

Wann, E. V., E. L. Jourdain, R. Pressey, and B. G. Lyon. 1985. Effect of mutant genotypes hp og^c and dg og^c on tomato fruit quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110: 212-215.

Warnock, S. J. 1990. Inheritance of pear-shaped fruit in tomato. Tomato Gen. Coop. Rep. No. 40: 38-40.

Whitaker, T. W. 1979. The breeding of vegetable crops: highlights of the past seventy-five years. HortScience 14: 359-363.

Wien, H. C. and A. D. Turner. 1994. Screening fresh-market tomatoes for susceptibiligy to catfacing with GA_3 foliar sprays. HortScence 29 (1): 36-37.

Wien, H. C. and Y. Zhang. 1991. Gibberellic acid foliar sprays show promise as screening tool for tomato fruit catfacing. HortScience 26 (5): 583-585.

Wurbs, D., S. Ruf, and R. Bock. 2007. Contained metabolic engineering in tomatoes by expression of carotenoid biosynthesis genes from the plastid genome. The Plant Journl 49: 276-288.

Yassin, T. E. 1988. Inheritance of three agronomic characters in *Lycopersicon* interspecific crosses. J. Agric. Sci., Camb. 110: 471-474.

Yates, H. E., A. Frary, S. Doganlar, A. Frampton, N. E. Eannetta, J. Uhlig, and S. D. Tanksley. 2004. Comparative fine mapping of fruit quality QTLs on chromosome 4 introgressions derived from two wild tomato species. Eyphytica 135: 283-296.

Yelle, S., R. T. Chetelat, M. Dorais, J. W. DeVerna, and A. B. Bennett. 1991. Sink metabolism in tomato fruit. IV. Genetic and biochemical analysis of sucrose accumulation. Plant Physiol. 95 (4): 1026-1035.

Yen, H. C. et al. 1997. The tomato high-pigment (hp) locus maps to chromosome 2 and influences plastome copy number and fruit quality. Theor. Appl. Genet. 95 (7): 1069-1079.

Yomes, M. L. 1972. Breeding for improved nutritional value. HortScience 7: 154-156.

Young, T. E., J. A. Juvik, and J. G. Sullivan. 1993. Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 118 (2): 286-292.

Yousef, G. G. and J. A. Juvik. 2001. Evaluation breeding utility of an chromosomal segment from *Lycopersicon chmielewskii* that enhances cultivated tomato soluble solids. Theoretical and Applied Genetics 103 (6/7): 1022-1027.

Zhang, N., M. T. Brewer, and E. van der Knaap. 2012. Fine mapping of fw3.2 controling fruit weight in tomato. Theor. Appl. Genet. 125 (2): 273-284.

صَدَر للمؤلف

صدَر للمؤلف الكتب التالية:

أولاً: فى مجال أساسيات وتقنيات إنتاج وتداول الخضر

١– أساسيات إنتاج الخضر وتكنولوجيا الزراعات المكشوفة والمحمية (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٩٢٠ صحة.

٢– تكنولوجيا الزراعات المحمية (الصوبات) (١٩٩٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٣٥ صفحة.

٣– أساسيات إنتاج الخضر فى الأراضى الصحراوية (١٩٩٣). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٥ صفحة.

٤– إنتاج وفسيولوجيا واعتماد بذور الخضر (١٩٩٤). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٢٨٥ صفحة.

٥– أساسيات وفسيولوجيا الخضر (١٩٩٨). المكتبة الأكاديمية — ٥٩٦ صفحة.

٦– تكنولوجيا إنتاج الخضر (١٩٩٨). المكتبة الأكاديمية — ٦٢٥ صفحة.

٧– الأساليب الزراعة المتكاملة لمكافحة أمراض وآفات وحشائش الخضر (١٩٩٩). المكتبة الأكاديمية — ٥٨٦ صفحة.

٨– تكنولوجيا الزراعات المحمية (١٩٩٩). المكتبة الأكاديمية — ٥٣٥ صفحة.

٩– الممارسات الزراعية لمكافحة أمراض وآفات وحشائش الخضر: البدائل العلمية والعملية المتكاملة (٢٠١٠). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٧٨٣ صفحة.

١٠- تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد حصاد الخضر الثمرية (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٥٢ صفحة.

١١- تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد حصاد الخضر غير الثمرية (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٤٦٤ صفحة.

١٢- أصول الزراعة العضوية: ما لها وما عليها (٢٠١١). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٣٩٤ صفحة.

١٣- أصول الزراعة المحمية (٢٠١٢). الدار العربية للنشر والتوزيع — ٨٣٦ صفحة.

١٤- أساسيات وتكنولوجيا إنتاج الخضر (٢٠١٥). دار الكتب العلمية والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية — ٩٦٨ صفحة.

١٥- تداول الحاصلات البستانية: تكنولوجيا وفسيولوجيا ما بعد الحصاد (٢٠١٥). دار الكتب العلمية، والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس ، والمكتبة الأكاديمية— ٥٤٨ صفحة.

١٦- الأهمية الغذائية والطبية للخضروات. (٢٠١٥). دار الكتب العلمية والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية — ٣٧٨ صفحة.

١٧- تسميد محاصيل الخضر (٢٠١٦). دار الكتب العلمية، والدار العربية للنشر والتوزيع، ومكتبة أوزوريس، والمكتبة الأكاديمية— ٦٩٣ صفحة.

١٨- عوامل الشد البيئي ووسائل الحد من أضرارها: الحلول التكنولوجية لتحديات ومعوقات إنتاج الخضر فى الظروف البيئية القاسية. الدار العربية للنشر والتوزيع — القاهرة — ٦٤٨ صفحة.

١٩- بدائل المبيدات لمكافحة أمراض وآفات الخضر. الدار العربية للنشر والتوزيع – القاهرة – ٤٨٩ صفحة.

ثانيًا: فى مجال إنتاج محاصيل الخضر

١- الطماطم (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٣٣١ صفحة.

٢- البطاطس (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع – ١٨٦ صفحة.

٣- البصل والثوم (١٩٨٨). الدار العربية للنشر والتوزيع – ١٩١ صفحة.

٤- القرعيات (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٢٠٧ صفحات.

٥- الخضر الثمرية (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٣٠١ صفحة.

٦- الخضر الثانوية (١٩٨٩). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٣٩١ صفحة.

٧- الخضر الجذرية والساقية والورقية والزهرية (١٩٩٠). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٣٧٤ صفحة.

٨- إنتاج محاصيل الخضر (١٩٩١). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٧١٢ صفحة.

٩- إنتاج خضر المواسم الدافئة والحارة فى الأراضى الصحراوية (١٩٩٤). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٢٨٨ صفحة.

١٠- إنتاج خضر المواسم المعتدلة والباردة فى الأراضى الصحراوية (١٩٩٤). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٢٨٥ صفحة.

١١- الطماطم: تكنولوجيا الإنتاج، والفسيولوجى، والممارسات الزراعية، والحصاد والتخزين (١٩٩٨). الدار العربية للنشر والتوزيع – ٥١١ صفحة.

١٢- الطماطم: الأمراض والآفات ومكافحتها (١٩٩٨). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٢١٠ صفحات.

١٣- إنتاج البطاطس (١٩٩٩). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٤٤٦ صفحة.

١٤- إنتاج البصل والثوم (١٩٩٩). الدار العربية للنشر والتوزيع- ٣٧١ صفحة.

١٥- القرعيات: تكنولوجيا الإنتاج، والفسيولوجي، والممارسات الزراعية، والحصاد والتخزين (٢٠٠٠). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٤٩٨ صفحة.

١٦- القرعيات: الأمراض والآفات ومكافحتها (٢٠٠٠). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٣٠ صفحة.

١٧- إنتاج الفلفل والباذنجان (٢٠٠١). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٣٦ صفحة.

١٨- إنتاج الخضر البقولية (٢٠٠١). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٢٤ صفحة.

١٩- إنتاج الفراولة (٢٠٠٢). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٨٨ صفحة.

٢٠- إنتاج الخضر الكرنبية والرمرامية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٢٧ صفحة.

٢١- إنتاج الخضر الخيمية والعليقية والقلقاسية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣١٥ صفحة.

٢٢- إنتاج الخضر المركبة والخبازية والقلقاسية (٢٠٠٣). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٠٠ صفحة.

٢٣- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية - الجزء الأول (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٠٤ صفحات.

٢٤- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية - الجزء الثانى (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٠٠ صفحة.

٢٥- إنتاج الخضر الثانوية وغير التقليدية - الجزء الثالث (٢٠٠٤). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٤٢٤ صفحة.

ثالثًا: في مجال تربية النبات

١- أساسيات تربية النبات (١٩٩١). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٦٨٢ صفحة.

٢- تربية محاصيل الخضر (١٩٩٢). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٨٠٠ صفحة.

٣- تربية النباتات لمقاومة الأمراض والآفات (١٩٩٣). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٧٨ صفحة.

٤- الأساس الفسيولوجي للتحسين الوراثي في النباتات: التربية لزيادة الكفاءة الإنتاجية وتحمل الظروف البيئية القاسية (١٩٩٥). المكتبة الأكاديمية - ٣٢٨ صفحة.

٥- الأسس العامة لتربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٤٧٧ صفحة.

٦- طرق تربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٣٩٣ صفحة.

٧- تحسين الصفات الكمية: الإحصاء البيولوجي وتطبيقاته في برامج تربية النبات (٢٠٠٥). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٢٥١ صفحة.

٨- التكنولوجيا الحيوية وتربية النبات (٢٠٠٧). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٧٨٣ صفحة.

٩- تطبيقات تربية النبات في مكافحة الأمراض والآفات (٢٠٠٨). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٥٨٥ صفحة.

١٠- تربية النبات لتحمل الظروف البيئية القاسية (٢٠١٢). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٥٤٤ صفحة.

١١- مبادئ تربية محاصيل الخضر (٢٠١٧). الدار العربية للنشر والتوزيع الحديثة - ٢٥٧ صفحة.

١٢- أساسيات تربية الطماطم (٢٠١٧). الدار العربية للنشر والتوزيع - ١٨٠ صفحة.

رابعًا: فى مجال أصول البحث العلمى والكتابة العلمية

١- أصول البحث العلمى - الجزء الأول: المنهج العلمى وأساليب كتابة البحوث والرسائل العلمية (١٩٩٦). المكتبة الأكاديمية - ٤١٧ صفحة.

٢- أصول البحث العلمى - الجزء الثانى: إعداد وكتابة ونشر البحوث والرسائل العلمية (١٩٩٦). المكتبة الأكاديمية - ٢٧٣ صفحة.

٣- أصول إعداد ونشر البحوث والرسائل العلمية (٢٠٠٨). الدار العربية للنشر والتوزيع - ٧٧٠ صفحة.